

ALEXSON BOBATO

**ÍNDICE NUTRICIONAL DO NITROGÊNIO: UMA FERRAMENTA PARA
O DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO
MILHO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, *Ph.D.*

Co-orientadora: Dra. Tangriani Simioni Assmann

CURITIBA

2006

ALEXSON BOBATO

**ÍNDICE NUTRICIONAL DO NITROGÊNIO: UMA FERRAMENTA PARA
O DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO
MILHO**

Curitiba

2006

Ao meu pai Ademar,
À minha mãe Ivete e aos
Meus irmãos Adalberto, Aguinaldo e
Lílian.

COM MUITO CARINHO,
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu a sabedoria e força para que este trabalho fosse possível de ser realizado.

Ao professor Luiz A. C. Lucchesi, pela orientação segura, amizade, incentivo e acreditar que tudo é possível.

A professora Tangriani Simioni Assmann, pela co-orientação, pelos vários anos de amizade, dedicação a mim dependida, valiosas sugestões e por sempre acreditar em meu trabalho.

Ao professor Alceu Luiz Assmann, pela amizade, apoio e orientação na instalação e condução do experimento.

Aos Laboratoristas do UTFPR – Campus Pato Branco, Marcos Aurélio Bortolin e Maria Salete da Silva pelo apoio e confiança durante todos estes anos de estagiário no Laboratório de Solos.

À administração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, aos meus amigos, professores do curso de Agronomia do Campus Pato Branco que possibilitaram a execução deste trabalho.

À administração do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR pela colaboração para o desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários do IAPAR que em momento algum mediram esforços para ajudar na realização do trabalho no campo, desde a instalação até a colheita do milho.

Ao Laboratório de Solos da UTFPR, pela colaboração na realização de todas as análises necessárias.

À UFPR, especificamente ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo e a todos os professores que lecionaram durante este período e proporcionaram a mim oportunidade de cursar um curso de mestrado, até então para mim era um sonho, mas agora se tornou realidade e com isso contribui para o meu crescimento pessoal e intelectual.

A todos meus amigos do Laboratório de solos que me ajudaram o tempo todo e que serei grato a eles até que Deus me permita agradecê-los, Rachel C. Diehl, Miguel A. Cambruzzi, Margareth Steiner, Joice Assmann, Raquel Viccini, enfim a todos que de forma direta ou indireta contribuíram na execução desta obra.

Ao meu amigo, o qual considero meu irmão Adinan Galina, pelos oito anos em que moramos juntos, que me ajudou também na realização deste projeto e por ter sido aquela pessoa que soube me ouvir, compreender e me dar apoio durante alguns momentos difíceis que passei ao longo destes anos.

Aos meus amigos do Curso de mestrado, que foram amigos em todos os momentos difíceis que passei durante o mestrado reitero minha gratidão.

A toda a minha família, que em momento algum deixou de me apoiar, fazendo com que acreditar que a conquista seria em questão de tempo, trabalho e paciência, pela compreensão, pela confiança que depositaram em mim durante este período e pela educação que meu pai e minha mãe me ensinaram, e contribuíram para o que há de mais digno em um ser humano que é o respeito e a honestidade.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ALEXSON BOBATO, filho de Ademar Guido Bobato e Ivete Bobato, nasceu na cidade de Prudentópolis, Estado do Paraná, no dia 04 de abril de 1980.

Cursou o primeiro grau na cidade de Prudentópolis, PR. Em 1996 ingressou no Colégio Agrícola Estadual Arlindo Ribeiro na cidade de Guarapuava, onde em 1998 recebeu o grau de Técnico em Agropecuária. No ano de 1999 ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Campus Pato Branco), tendo em 2004, recebido o grau de Engenheiro Agrônomo.

Em 2004 iniciou o Curso de mestrado na Universidade Federal do Paraná, na área de concentração em Ciência do Solo, obtendo o grau de Mestre em Ciência do Solo em 2006.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO	4
2.2 PANORAMA DA CULTURA DO MILHO NO BRASIL RELATIVA AOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES.....	5
2.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO	6
2.4 MATÉRIA ORGÂNICA, MANEJO, ATIVIDADE BIOLÓGICA E DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO	7
2.5 MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DE N PELA PALHADA EM PD	9
2.6 FORMAS DE N NO SOLO E SUA ABSORÇÃO PELAS PLANTAS.....	11
2.7 LIXIVIAÇÃO DE N	12
2.8 ÍNDICE NUTRICIONAL NITROGENADO (INN).....	16
2.9 RECOMENDAÇÕES E RESPOSTAS DO MILHO A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	19
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	24
3.2 CARACTERÍSTICA DE SOLO E CLIMA.....	24
3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	25
3.4 COLETA DE SOLO PARA ANÁLISE	27
3.5 COLETAS DE PLANTAS INTEIRAS PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE.....	28
NUTRICIONAL NITROGENADO E N FOLIAR.....	28
3.6 COLETA E ANÁLISE FOLIAR	28

3.7 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	29
3.9 ANÁLISE ECONÔMICA.....	30
3.1.0 Análise estatística.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 PRODUTIVIDADE E TEOR DE N FOLIAR	31
4.2 QUANTIDADE DE NITROGÊNIO ABSORVIDA E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA...	38
4.3 TEORES DE N MINERAL NO SOLO (N-NO_3^- e N-NH_4^+).....	40
4.3.1 Nitrato	40
4.3.2 Teores de Amônio.....	44
4.3.3 Índice nutricional nitrogenado (INN)	45
4.3.4 Análise econômica.....	48
5 Conclusões	49
REFERÊNCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE MILHO NO PERÍODO DE 1960 A 2001	4
FIGURA 2	MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO MENSAL	24
FIGURA 3	CROQUI ÁREA EXPERIMENTAL COM A DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS NAS PARCELAS, PATO BRANCO – PR, 2003/2004.	26
FIGURA 4	DIA DA SEMEADURA DO MILHO NO EXPERIMENTO (18 DE SETEMBRO DE 2003).	26
FIGURA 5	DATA DE APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DOS DIAS APÓS EMERGÊNCIA, PATO BRANCO, 2003/04.	27
FIGURA 6	AMOSTRAGEM DA FOLHA PARA A REALIZAÇÃO DA ANÁLISE FOLIAR - PRIMEIRA FOLHA ABAIXO	29
FIGURA 7	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E TEORES DE N FOLIAR EM FUNÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO	31
FIGURA 8	DIFERENÇA DE ESTATURA E DE ÁREA FOLIAR ENTRE OS TRATAMENTOS	33
FIGURA 9	DIFERENÇA NO CRESCIMENTO DAS PLANTAS ENTRE A PARCELA TESTEMUNHA	34
FIGURA 10	DIFERENÇAS OBSERVADAS NA FORMAÇÃO DA ESPIGA E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR	37
FIGURA 11	CURVA CRÍTICA DE NITROGÊNIO RELACIONANDO AO NITROGÊNIO ABSORVIDO	39
FIGURA 12	CONCENTRAÇÃO DO %N EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE MASSA SECA NA CULTURA DO MILHO	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	ESTIMATIVA DO CONSUMO GRÃOS DE MILHO NO BRASIL POR DIFERENTES	5
TABELA 2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM TRÊS PROFUNDIDADES, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO (29/09/2003). (MACRONUTRIENTES, NITRATO E AMÔNIO)	25
TABELA 3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM TRÊS PROFUNDIDADES, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO (29/09/2003) MICRONUTRIENTES	25
TABELA 4	TEORES DE NO_3^- NO SOLO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE AMOSTRADA, PATO BRANCO,	40
TABELA 5	TEORES DE NH_4^+ N MINERAL NO SOLO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE SOLO	44

RESUMO

O objetivo geral do presente trabalho foi o de gerar curva de diluição de forma a se permitir a indicação de doses de máxima eficiência técnica-econômica para a cultura do milho sob as condições estudadas na região Sudoeste do Paraná. Como objetivos específicos avaliou-se a influência de adubações nitrogenadas sobre a produtividade de grãos de milho, produção de massa seca, teor de N foliar, a inter-relação entre eles, a dinâmica do N-mineral do solo em diferentes épocas no desenvolvimento da cultura e em diferentes profundidades, e estimou-se o INN (Índice Nutricional do Nitrogênio).

O trabalho foi conduzido a campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) de Pato Branco PR, durante o ano agrícola de 2003/2004. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições. Nas parcelas aplicou-se quatro níveis de nitrogênio (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) sendo as doses parceladas em duas vezes.

Os resultados demonstraram ter havido aumento linear da produtividade de grãos e de matéria seca (MS) em função das doses crescentes de N, tendo-se atingido a produtividade máxima de grãos (10.678 kg ha⁻¹) e de MS (17.370 kg ha⁻¹) com a maior dose aplicada (240 kg ha⁻¹). Não se observou diferenças significativas entre as doses de N sobre os teores de NO₃⁻ e NH₄⁺ no solo, tendo esta sido notada apenas entre profundidades. Para o N, o INN demonstrou-se como melhor indicador do estado nutricional da cultura estudada que a análise foliar, podendo este ser utilizado como indicador de deficiências ou excessos do nutriente. O estudo apontou, sob as condições estudadas, a dose de 240 kg ha⁻¹ de N como aquela com maior eficiência técnica.

Palavras-chave: Nitrogênio, adubação nitrogenada, índice nutricional nitrogenado, dinâmica do nitrogênio.

ABSTRACT

The general objective of this research was to obtain a dilution curve in order to aid the establishment of technical-economical efficiency doses of nitrogen (N) for corn in the Southwest Region of the State of Paraná, Brazil. The specific objectives were to evaluate the influence of increasing doses of N applied to a corn crop, on its grain and dry matter yields, nitrogen (N) leaf contents, and on relations derived from these factors, on the soil Mineral-N dynamics at different soil depths during the growth period.

The field experiment was carried out in the IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná) Experimental Station, located at Pato Branco municipality, during the agricultural year of 2003/2004. For that a complete randomized blocks experimental design was used with 3 repetitions. The parcels were constituted by 4 N doses (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ N), split in 2 side-dress applications.

The results had shown a linear increase both in the grain and in the dry mass productivity with the increasing N doses. The maximum obtained yields were 10,678 kg ha⁻¹ grain, and 17,370 kg ha⁻¹ dry matter, which were correspondent to the maximum applied dose of 240 kg ha⁻¹ N. No statistical differences were observed among the NO₃⁻ and NH₄⁺ soil levels the soil for the treatments. A difference was observed for soil N only soil depth was considered as the variation factor. The Nitrogen Nutritional Index (INN) showed to be a better indicator of the crop nutritional condition for N then the total leaf N content. The INN seems to be a good indicator of N deficiencies and excess for corn. The dose of 240 kg ha⁻¹ N was show, under the experimental conditions, to be the most efficient.

Keys words: Nitrogen, nitrogen fertilization, Nitrogen Nutritional Index, Nitrogen dynamics.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta grande importância social e econômica por gerar um dos principais produtos agrícolas do País. Também no campo da nutrição o milho vem sendo utilizado com destaque no arraçãoamento de animais, em especial na suinocultura, na avicultura e na bovinocultura de leite. Na alimentação humana o milho pode ser consumido in natura, como milho-verde ou na forma produtos dele derivados como a farinha, pão, massas e muitos outros.

Apesar de sua grande importância, no Brasil e no Paraná a produtividade média de grãos por unidade de área ainda pode ser considerada baixa em relação ao potencial genético das variedades que hoje existem no mercado. Essa baixa produtividade pode ser atribuída a diversos fatores dentre os quais destacam-se as baixas doses de adubo, principalmente de nitrogenados, e que muitas vezes não correspondem às exigências mínimas das variedades selecionadas.

O N é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas culturas, especialmente pela do milho. No entanto, essa demanda não é suficientemente suprida pelo solo. Deste modo faz-se necessária a adubação nitrogenada para sua adequada suplementação. Para tanto, HAUCK (1984) cita como principais alternativas disponíveis para o fornecimento de N para as culturas os fertilizantes minerais e as leguminosas as quais não podem ser utilizadas como práticas isoladas. Com relação à adubação mineral, segundo AMADO et al. (1999), enquanto no Brasil a dose média de N no milho situa-se em torno de 60 kg ha⁻¹, na China e nos Estados Unidos esta gira em torno de 130 a 150 kg ha⁻¹ de N respectivamente.

Por outro lado, no Sul do Brasil, região em que mais se produz milho (12,850 milhões de toneladas), o Paraná é o estado maior produtor (7.578,94 milhões de toneladas), e Pato Branco, município em que a presente pesquisa foi conduzida, a produtividade média da safra de 2003/2004 foi de 7.974 kg ha⁻¹ (SEAB/DERAL, 2005). No entanto, apesar de tal produtividade ser muito superior à média nacional, esta tem potencial para ser incrementada na medida em que melhor se diagnosticar a necessidade e se manejar adequadamente a adubação, principalmente a nitrogenada.

Para tanto, se faz necessário um correto e rápido diagnóstico da capacidade do solo em prover a cultura com nitrogênio, e do grau de suficiência desta. Atualmente no Paraná, e em particular na região de Pato Branco, tem-se utilizado para tanto do que preconiza a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (2004). Ou seja, tem-se recomendado doses de N com base no teor de matéria orgânica do solo, na expectativa de

rendimento de grãos e no histórico de utilização da área cultivada, tais como o sistema de preparo do solo e a adubação de cobertura antecedente.

No entanto, tal procedimento parece ser insuficiente para prognosticar a dose que possa se traduzir em máxima produtividade técnica-econômica. Assim sendo, tem-se pregado, ainda que muitas vezes conceitualmente, o uso da análise foliar para avaliação do estado nutricional das plantas e inferências sobre o nível de suficiência de nutrientes no solo. Isto apesar das sabidas dificuldades de interpretação e erros de amostragem, o que se traduz em imprecisões no diagnóstico.

Surge neste contexto a possibilidade de utilização do Índice Nutricional do Nitrogênio ou Índice Nutricional Nitrogenado (INN) cuja utilização é preconizada neste trabalho de maneira a permitir uma melhor interpretação dos resultados obtidos da análise foliar, seja quando esta for realizada em porções específicas da planta, seja quando os teores referirem-se à concentração média de uma planta inteira, particularmente no que tange ao N.

Assim sendo, tendo em vista não haverem no Brasil dados expressando tal relação, ou seja, o teor de N em plantas inteiras de milho e, ou o seu teor correspondente em porções específicas da planta com o seu nível de suficiência ou excesso, permitindo o estabelecimento de índices para um rápido diagnóstico do status do teor de N na planta, justifica-se o presente trabalho. Desta forma, com base em tais índices, pode-se gerar recomendações que permitam melhor ajustar a necessidade, ou não, de se aplicar N à cultura do milho, e conseqüentemente a recomendação de doses mais econômicas e com menor risco de perda e conseqüências ambientalmente indesejáveis.

Desta forma, o objetivo geral do presente trabalho foi o de gerar curva de diluição de forma a se permitir a indicação de doses de máxima eficiência técnica-econômica de N para a cultura do milho sob as condições estudadas na região Sudoeste do Paraná. Como objetivos específicos pretendeu-se também avaliar a influência de adubações nitrogenadas sobre a produtividade de grãos de milho, produção de massa seca, teor de N foliar, a inter-relação entre eles, a dinâmica do N-mineral do solo em diferentes épocas no desenvolvimento do milho e em diferentes profundidades. Objetivou-se também estimar o INN para a cultura do milho.

Nesta pesquisa testou-se a seguinte hipótese: doses crescentes de N provocarão aumentos na produtividade de grãos de milho, aumentos na produção de MS e nos teores de N foliar e a interação entre os mesmos, aumentos nos teores de N-mineral no solo em diferentes épocas e profundidades, e na quantidade de N absorvido pelas plantas; isto posto, ao se calcular o INN, este se demonstrará um indicador do estado nutricional de plantas de milho mais sensível para detectar a deficiência de N que os resultados de

análises foliar, em razão de expressar a diluição deste na crescente produção de MS, o que permitirá indicar doses mais adequadas deste nutriente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família Gramineae, é a mais importante planta comercial com origem nas Américas, possivelmente no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. Logo depois do descobrimento da América o milho foi levado para a Europa aonde foi cultivado em jardins até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Desde então passou a ser plantado em escala comercial e espalhou-se pelo mundo desde a latitude de 58° norte (União Soviética) até 40° sul (Argentina) (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Assim sendo o milho, ao lado do trigo, passou a ser o cereal mais produzido conforme FIGURA 1. No entanto, enquanto o trigo é praticamente todo consumido na alimentação humana, o milho, em razão de sua versatilidade, é utilizado tanto para o consumo humano, quanto para o animal e também em várias aplicações industriais.

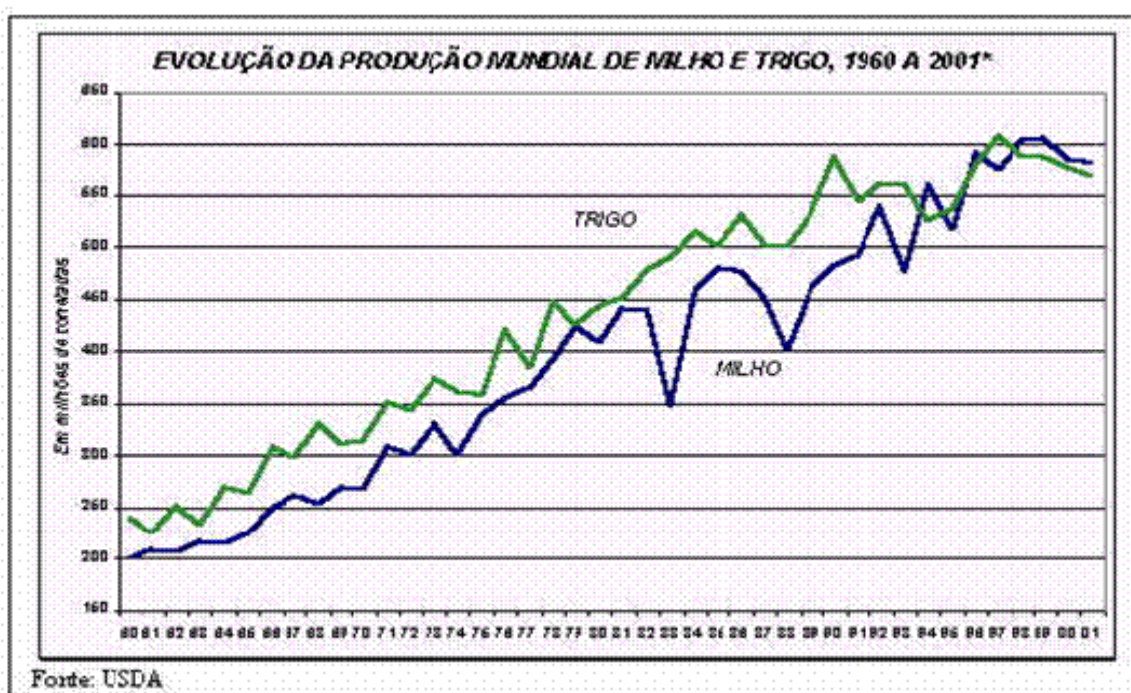


FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE MILHO NO PERÍODO DE 1960 a 2001

Atualmente a cultura do milho apresenta enorme importância econômica, em parte pelas suas diversas formas de utilização que vão desde a alimentação animal até a industrialização com de alta tecnologia como pode-se observar na TABELA 1. Nota-se ali que a alimentação animal representa a maior parte do consumo deste cereal sendo que em outros anos o consumo varia de 60 a 80%. Isto também ocorre em termos mundiais. Globalmente, cerca de 70% dos grãos são destinados à alimentação animal, sendo que nos Estados Unidos cerca de 50% é destinado a esse fim.

TABELA 1 - ESTIMATIVA DO CONSUMO GRÃOS DE MILHO NO BRASIL POR DIFERENTES SETORES DA ECONOMIA NO ANO DE 2001.

USO	1000 Mg	%
Consumo animal	26.366	63,5
Avicultura	13.479	32,4
Suinocultura	8.587	20,7
Pecuária	2.772	6,7
Outros animais	1.528	3,7
Industrial	4.163	10,0
Consumo humano	1.505	3,6
Perdas e sementes	263	0,6
Exportação	5.629	13,6
Outros	3.613	8,7

Fontes: Abimilho, MB Associados e Safras e Mercado

2.2 PANORAMA DA CULTURA DO MILHO NO BRASIL RELATIVA AOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES

A produção mundial de grãos de milho no ano agrícola de 2003/04 foi de 623 milhões de toneladas, da qual os Estados Unidos da América foram responsáveis por 256 milhões, a China por 115,83 milhões e o Brasil por 42 milhões de toneladas. Portanto, o Brasil é considerado o terceiro maior produtor mundial permanecendo somente atrás daqueles dois países (USDA, 2004).

Já com relação à produtividade o quadro também se repete. Tomando-se a safra 2004/2005 para se fazer um comparativo do Brasil com os principais países produtores de milho pode-se constatar a baixa produtividade nacional. Segundo o USDA (2004), enquanto os Estados Unidos cultivam uma área de 29,6 milhões de hectares em que obtiveram uma produtividade média de 9.344 kg ha⁻¹ de grãos, a China obteve 4.933 kg ha⁻¹ numa área de 23,4 milhões de hectares, a Argentina 5.552 kg ha⁻¹ em 2,45 milhões de hectares e o Brasil

com uma área de 12,3 milhões de hectares alcançou uma produtividade média de grãos de apenas 3.280 kg ha⁻¹.

No entanto, alguns fatores têm contribuído para melhorar a produtividade de milho no Brasil tais como a adaptação de cultivares às mais variadas situações de clima e solo, o melhoramento genético, a melhoria de propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos cultivados e a adoção de práticas culturais. Assim sendo, apesar da produtividade ainda ser considerada baixa quando comparada com a dos principais países produtores, pode-se afirmar que o Brasil tem obtido grandes avanços neste índice, o qual pode e deve ser melhorado. Para tanto, faz-se necessário que um maior número de produtores passe a adotar técnicas de cultivo que proporcionem aumentos em produtividade e renda líquida das quais pode-se destacar a adubação nitrogenada.

2.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO

Depois da deficiência d'água, a de nitrogênio (N) pode ser considerada o fator que mais limita a produtividade de biomassa em ecossistemas naturais e agrícolas. Assim, a prática da adubação nitrogenada em culturas anuais e forrageiras pode prover N às plantas em quantidade suficiente para que estas atinjam seu potencial de crescimento frente à quantidade de luz interceptada. Contudo, a dose de N não deve ultrapassar o máximo requerido, pois isto pode redundar em consequências indesejáveis dos pontos de vista agrônomo, ambiental e econômico

O N é um dos elementos mais absorvidos pela cultura do milho. E justamente por essa razão este poderá ser o elemento mais limitante, caso não seja suprido adequadamente em tempo e em quantidade exigida pelas plantas. Desta forma, no início do desenvolvimento da cultura, apesar das exigências serem menores, o adequado suprimento de N às plantas em seu estágio inicial de crescimento não deixa de ser menos importante. Ao contrário é fundamental para promover um rápido "arranque inicial" e definição do potencial de produção da lavoura (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Segundo RITCHIE et al. (1993), nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o sistema radicular das plantas de milho é pouco desenvolvido e, portanto pouco solo é explorado. Dessa forma, grandes concentrações de N próximas ao sistema radicular são necessárias para se atender à demanda da cultura, uma vez que é neste período que ocorre a diferenciação das partes da planta. Passados estes estádios a taxa de absorção de N aumenta proporcionalmente ao aumento da de crescimento até atingir seu pico máximo entre o início do florescimento e o início do enchimento de grãos.

Segundo FANCELLI e DOURADO NETO (2000), é durante o E1, estágio fenológico em que as plantas apresentam-se com quatro folhas totalmente desdobradas, que a planta tem seu potencial de produção definido. Já no E2, estágio fenológico em que as plantas apresentam-se com oito folhas, o sistema radicular encontra-se bem distribuído no solo o que favorece bem mais o aproveitamento de fertilizantes. Inclusive dos nitrogenados.

Por outro lado, quando se deseja obter altas produtividades de milho, a taxa de disponibilização de N pelos solos não é suficiente para o atendimento das exigências da cultura, fazendo-se pois necessário o uso de adubações nitrogenadas em cobertura de forma a complementá-la (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Segundo COELHO et al. (2002) 70 a 90% das pesquisas conduzidas no Brasil sob diversas condições de solo, clima e sistemas de manejo demonstraram respostas positivas da cultura do milho à adubação nitrogenada. Nas últimas décadas grande parte do N fornecido à lavouras de milho adveio de adubos sintéticos. Tal prática tem gerado certa preocupação pela percepção de que esta pudesse estar relacionada à poluição de águas e do próprio solo caso fosse implementada de forma equivocada ou indiscriminada. No entanto, apesar de que altas produtividades dependem de doses mais elevadas de N, acredita-se que uso adequado dos fertilizantes não seja capaz de gerar tais problemas. Tal uso depende da compatibilização entre a demanda pela cultura e oferta pelo solo.

2.4 MATÉRIA ORGÂNICA, MANEJO, ATIVIDADE BIOLÓGICA E DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO

O principal reservatório de N presente na fase sólida do solo é a matéria orgânica, o que permite que a maioria dos solos agrícolas contenha várias toneladas de N orgânico em seus perfis. No entanto, a maior parte desse N não está prontamente disponível para as plantas (URQUIAGA e ZAPATA, 2000). No geral o conteúdo de N total do solo varia entre 0,05 e 0,5%, sendo que menos de 5% deste N total encontra-se sob formas inorgânicas (NH_4^+ , e, ou NO_3^-) prontamente disponíveis (SÁ, 1999).

Por outro lado, o N do solo sofre constantes transformações mediadas por microrganismos. Estas por sua vez são influenciadas pelos diferentes sistemas de manejo empregados, principalmente as formas presentes na matéria orgânica, bem como os processos de mineralização e imobilização (SILVA e RESCK, 1997).

Segundo TISDALE et al. (1993) a matéria orgânica (MO) do solo poder ser definida como substâncias orgânicas em vários estágios de decomposição. De maneira geral a MO do solo poder ser dividida em duas categorias: a) húmus, substâncias relativamente estáveis

e resistentes à rápida decomposição rápida; e b) resíduos de culturas, materiais orgânicos frescos fácil e rapidamente decomponíveis.

A importância da MO para a manutenção de boas condições físicas, químicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida. O teor de MO do solo depende do balanço entre a taxa de incorporação de resíduos vegetais e de sua decomposição. A presença de maiores teores de MO no solo contribui para imobilização temporal do N, o qual posteriormente pode se tornar novamente disponível para as próximas culturas, reduzindo sua perda (KORNDÖRFER et al. 1997). De acordo com VICTÓRIA et al. (1992), a rotação de culturas com espécies (aveia preta, milho, milheto, etc) que geram produção de fitomassa com elevada relação C/N estimula os microorganismos quimiorganotróficos do solo a tornarem-se ativos gradativamente, o que permite o surgimento de taxas de mineralização de nutrientes mais estáveis.

Para isto a rotação de culturas e o plantio direto são alternativas a serem consideradas quando se desejar que materiais com diferentes relações C/N permaneçam sobre o solo, e assim levem o N a sofrer uma taxa de mineralização mais constante. Caso os teores de MO do solo sejam baixos pode-se promover sua recuperação por meio da implantação de pastagens (GREENLAND¹ citado por ASSMANN, 2001). Também em sistemas de produção intensivos deve-se reduzir o revolvimento do solo e adoção de sistemas de rotação de culturas que incluam espécies com alta produtividade de biomassa (TESTA et al. 1992; BAYER e MIELNICZUK, 1997).

Práticas de manejo inadequadamente adotadas no Sul do Brasil tais como o revolvimento intenso do solo por arações e gradagens e a queima dos resíduos do trigo da sucessão trigo/soja proporcionou perdas de matéria orgânica equivalentes à metade do estoque originalmente encontrado no solo num período de apenas 10 -15 anos de em que ocorreu o seu cultivo intensivo (POTTKER, 1977). Tais perdas podem ser em parte atribuídas às elevadas taxas de decomposição da matéria orgânica e ao intenso processo erosivo nos solos submetidos ao sistema de preparo do solo conhecido como convencional (aração e gradagens). Como estratégia para se reverter este processo acelerado de degradação dos solos agrícolas e se aumentar a produtividade das culturas tem-se implementado nessa região, desde o final da década de 70, sistemas ditos “conservacionistas”. Estes sistemas visam a manutenção da cobertura do solo pelas próprias plantas e, ou pelos resíduos. Isto é alcançado através do cultivo de sucessões de

¹ GREENLAND, D. J. Change in the nitrogen status and physical condition of soils under pasture, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soils used for growing wheat. **Soil and Fertilizers**, Berlin, v.34, p.237-251, 1971.

culturas com alta produção de fitomassa, e da diminuição da intensidade de revolvimento do solo.

Segundo DICK et al. (1991) alterações nas propriedades do solo sob sistema plantio direto (PD) em Ohio – EUA são difíceis de serem detectadas nos 2 ou 3 primeiros anos, tendo sido observadas somente após os 10 primeiros anos de adoção do sistema. Os autores observaram acúmulo de N na superfície do solo em área com mais de 25 anos sob PD, atribuído ao não revolvimento. Adicionalmente a isso, SÁ (2001) verificou melhorias nas características químicas em um Latossolo Vermelho manejado sob o PD.

2.5 MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DE N PELA PALHADA EM PD

A persistência dos resíduos culturais sobre o solo está diretamente ligada à sua velocidade de decomposição, definida pela atividade biológica, e por outros fatores tais como: taxa de aplicação de N; composição dos resíduos; temperatura; pH; teor de nutrientes; umidade do solo; tipo de solo; e pela relação C/N dos próprios resíduos. Caso estes fatores não sejam razoavelmente favoráveis à decomposição estima-se que a mineralização dos resíduos inicie-se somente a partir de 4 a 8 semanas do início da decomposição. Disso conclui-se pela necessidade de se fornecer N via fertilizantes de forma a se evitar deficiências nutricionais (STEVENSON e COLE, 1999).

Dentre os fatores citados a relação C/N tem papel preponderante no processo de imobilização e mineralização do N (SANTI et al. 2003). Estes autores ao avaliarem a aplicação de N em cobertura na cultura da aveia observaram uma relação inversa entre a relação C/N da aveia e as doses N aplicadas. Note-se que com o decréscimo da relação C/N possibilita-se aumentar o potencial de fornecimento de N pela palhada de aveia para a cultura que a sucede, o que torna uma rotação com a aveia uma estratégia para permitir uma melhor sincronia entre a disponibilização de N pela palhada e a necessidade de N pela cultura sucessora, particularmente nos períodos de maior demanda, como é o caso do milho. Segundo KIEHL (1985), caso a necessidade dos microrganismos por N não seja suprida poderá haver deficiência do nutriente para o milho.

Segundo DAL ROS et al. (1997), a imobilização do N mineral pela biomassa microbiana é a principal causa da redução da disponibilidade de N quando decomposição de resíduos orgânicos durante o início do desenvolvimento da cultura sucessora. Uma relação C/N na faixa compreendida entre 23 e 24 favorece a mineralização uniforme de resíduos vegetais (DERPSCH et al. 1985; HEINZNANN, 1985). Quando a relação C/N se encontrar em torno de 20 inicia-se a mineralização do N (ARGENTA et al. 1999).

Considerando-se a alta relação C/N que os resíduos de aveia apresentam, e o fato de os microrganismos imobilizarem grande parte deste nutriente no solo durante a decomposição, o que provoca deficiência de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, e considerando-se que grande parte das áreas sob PD no Sul do Brasil têm-se utilizado de aveia preta como cobertura de inverno, em antecedência à do milho no verão, entende-se a preocupação pela necessidade de se promover maior disponibilidade de N no início do crescimento do milho de forma a se evitar deficiências nos estágios iniciais de desenvolvimento (ARGENTA, 1999).

Avaliando a cinética da decomposição de palhada de aveia preta AITA e GIACOMINI (2003) observaram, após 30 dias da colocação de bolsas no campo com palhada de aveia em seu interior, que 81% da matéria seca (MS) da aveia permanecia na superfície do solo, e que após 182 dias apenas 15 kg ha⁻¹ de N havia sido liberado a partir desta. Por outro lado, CERETTA et al. (2002) avaliando a decomposição de resíduos de nabo forrageiro, de aveia + ervilhaca e de aveia preta, observaram que aos 30 dias da dessecação de tais culturas de cobertura com herbicidas que respectivamente 38%, 38% e 34% da biomassa produzida haviam sido decomposta. Já aos 120 dias da dessecação respectivamente 72%, 67% e 66% da biomassa originalmente produzida havia sido decomposta.

Ao submeterem resíduos culturais de aveia aos tratamentos de 0 e 240 kg ha⁻¹ de N, AMADO et al. (2003) observaram aos 110 dias da dessecação que respectivamente 39% e 37% da biomassa original havia sido decomposta. Tais autores observaram que o rendimento de grãos de milho respondeu de forma linear à quantidade de N liberada pela aveia, e que produziu em torno de 60 e 40 kg ha⁻¹ de grãos para cada kg de N liberado pelos resíduos decompostos da aveia, respectivamente nos anos de 1998 e 1999. No primeiro ano a liberação de N foi de 7,5 e 45 kg ha⁻¹, no segundo ano a quantidade de N liberado foi de 16 e 65 kg ha⁻¹. Todavia, o N liberado pelos resíduos da aveia não foi suficiente para atender plenamente ao N potencialmente demandado pela cultura o que restringiu seu rendimento. Observou-se também noutro tratamento em que se utilizou a ervilhaca como cultura de cobertura, e no qual não se aplicou N que a liberação de N da ervilhaca foi em torno de 55 kg ha⁻¹ de N maior que aquela observada para a aveia com maior dose de N aplicada. Outro resultado importante foi o de que a liberação do N pela decomposição da aveia adubada até o pendoamento do milho foi de aproximadamente 73% daquele verificado na leguminosa. Esses dados confirmam que a aveia, mesmo após a adubação de N em cobertura, não apresenta o mesmo potencial de liberação de N de uma leguminosa, confirmando a importância da introdução de leguminosas em planos de rotação de culturas.

BASSO e CERETTA (2000) e BORTOLINI et al. (2002) desenvolveram trabalhos nos quais avaliaram os efeitos da adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho, ou seja, na adubação de cultura de aveia preta que o antecedeu, como estratégia para se aumentar o aporte de biomassa de cobertura e de se proporcionar aumento na disponibilidade de N no solo para a cultura de milho sucessora, já em seus estádios iniciais de desenvolvimento. Tal procedimento redundou em biomassa de cobertura com quantidade e qualidade suficiente para aumentar o teor de MO do solo e conseqüentemente gerar melhorias nos atributos físico-químicos do sistema.

SÁ (1989) desenvolveu trabalhos na região dos Campos Gerais do Paraná com o objetivo de avaliar o efeito de restos culturais de gramíneas com alta C/N nas respostas do milho à adubação nitrogenada em sucessão à aveia preta, em sistema de PD. O autor observou que a aplicação de 30 kg/ha de N na semeadura compensou a carência inicial de N. Esta resposta foi atribuída ao fato de que a aplicação de N na semeadura reduziu o efeito prejudicial da alta relação C/N da aveia em razão da maior decomposição de seus resíduos, e da maior liberação de N no período de maior demanda do nutriente pela cultura do milho. Baseado nestes resultados os autores passaram a recomendar aumento das dose de N na semeadura do milho em PD quando em sucessão a gramíneas.

MAI et al. (2003) observando o manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no PD, concluiu que apesar da aplicação de N na pré-semeadura do milho ter proporcionado maior teor de N no início do desenvolvimento desta gramínea, a aplicação de N em cobertura propicia a obtenção de maiores produtividades.

2.6 FORMAS DE N NO SOLO E SUA ABSORÇÃO PELAS PLANTAS

O N pode ocorrer nos solos em duas formas: orgânica e inorgânica. A maior parte encontra-se na forma orgânica, aproximadamente 98%, que podem ser mineralizadas durante os cultivos por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo (CAMARGO et al. 1997; TISDALE et al. 1993). A mineralização dos constituintes nitrogenados libera para a solução do solo íons inorgânicos de N, principalmente NH_4^+ e NO_3^- , os quais também podem se originar dos fertilizantes nitrogenados adicionados, e podem perfazer de 2 a 5% do N total do solo do solo. O óxido nítrico (NO) e o óxido nitroso (N_2O) também são formas importantes, porém, estas são perdidas pelo processo denominado de desnitrificação (TISDALE et al. 1993). As principais formas de N dispostas no solo e que são absorvidas pelas plantas são o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+).

O NO_3^- é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem restrição de oxigênio, caso contrário a formação de NH_4^+ será favorecida (SANGOI et al. 2003; BISSANI

et al. 2004). Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática do nitrato é insignificante. Desta forma, o NO_3^- permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA e FRIES, 1997).

O (NH_4^+) é a fonte preferida de N pela planta, porque energia pode ser poupada pelos vegetais quando esta forma é absorvida para a síntese de proteínas. Já o (NO_3^-) precisa ser reduzido antes de ser incorporado à proteína. Também, o (NH_4^+) é menos sujeito ao processo de lixiviação e desnitrificação. O limite de tolerância de (NH_4^+) é estreito, sendo que o excesso gera reações tóxicas. Níveis altos de (NH_4^+) podem retardar o crescimento e absorção de potássio pela plantas, causando deficiência de potássio. Em contraste, as plantas toleram excesso de (NO_3^-) e acumulam altos níveis em seus tecidos (TISDALE et al. 1993).

2.7 LIXIVIAÇÃO DE N

Nos últimos anos a quantidade de N aplicado na cultura do milho teve um rápido aumento, devido principalmente ao melhoramento genético pelas quais as cultivares de milho passaram, tornando-se mais exigentes requerendo, portanto, maiores quantidades de N para atender esta demanda e obter altas produtividades (MATSON et al. 1998). Do ponto de vista agrônomo, este aumento na quantidade de N utilizada é interessante, porque na maioria das vezes se reflete em maiores produtividades, conseqüentemente maior lucratividade para o agricultor, mas do ponto de vista ambiental, é mais um agravante caso não sejam adotadas práticas de manejo que visem controlar ou reduzir as perdas de N-NO_3^- para o lençol freático, as conseqüências ambientais podem ser desastrosas. STANFORD (1973) define o manejo da adubação nitrogenada como aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura com o mínimo possível de risco ambiental.

A preocupação em relação à adubação nitrogenada em solos agrícolas se justifica pela alta mobilidade do NO_3^- no solo. A lixiviação de NO_3^- é favorecida pela sua baixa energia envolvida no processo de adsorção às partículas do solo e pela sua alta solubilidade em água (CERETTA, 1997), podendo com isto ocorrer o comprometimento do sincronismo entre o N mineral disponível no solo e a cinética de absorção pelas plantas (BASSO et al. 2000). Estas características fazem com que facilmente este íon seja percolado, resultando em perdas e contaminações dos lençóis freáticos e cursos d'água.

A lixiviação de NO_3^- é favorecida principalmente quando ocorre o fato de a precipitação ser superior a evapotranspiração e o solo já estiver na sua máxima capacidade de campo (MAGDOFF, 1991). A concentração de NO_3^- no solo tem se mostrado como um

bom indicador da quantificação e de melhoria no manejo do N para a produção de milho. O valor crítico de NO_3^- , foi definido de 20 a 30 g kg^{-1} NO_3^- no solo.

A determinação da lixiviação de (NO_3^-) é difícil de ser estimada e depende de uma série de fatores, incluindo a própria quantidade de NO_3^- , a quantia e o tempo de chuva, infiltração e a taxa de percolação da água, evapotranspiração, capacidade do solo de reter água e a presença de plantas. A lixiviação é maior durante estação de temperaturas mais “frescas”, quando então a precipitação excede a evapotranspiração e no verão está restrito a períodos de chuvas “pesadas” e intensas. O N lixiviado principalmente na forma de NO_3^- , esta intimamente ligado ao movimento da água, sendo esta seu principal carreador para as camadas mais profundas NIELSEN et al², citado por GONÇALVES (1997)

BOBATO et al. (2003) trabalhando com doses de N em cobertura (0, 60, 120 e 240 kg ha^{-1}) utilizando a uréia como fonte de N, não constataram efeito significativo das aplicações de uréia sobre os teores de N mineral do solo, constataram apenas o efeito significativo do fator profundidade sobre os teores de N mineral do solo. Os autores estratificaram o solo de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, observaram que os teores de NH_4^+ mantiveram-se constantes nas três profundidades e os teores de NO_3^- foram menores na profundidade 10-20 cm em relação à profundidade 5-10 cm, que por sua vez foi menor que 0-5 cm respectivamente. Os autores atribuíram estes resultados devido aos atributos químicos do solo como exemplo o pH, ser maior na camada superficial, condição favorável a maior nitrificação, a precipitação pluviométrica homogênea durante todo o ciclo da cultura o que pode ter evitado uma possível lixiviação para camadas mais profundas e a alta produtividade da cultura refletindo em maior absorção de NO_3^- , contribuindo para a manutenção de baixos teores no solo. O pH é um dos fatores que exerce maior influência sobre a taxa de nitrificação no solo, sendo fator condicionante do processo de nitrificação.

De acordo com SANDANAM et al³ citado por SILVA et al. (2000), a maior nitrificação do N proveniente da uréia, em relação a outras fontes de N, é proveniente da elevação do pH próximo ao grânulo, propiciando condições favoráveis a nitrificação, segundo os autores este aumento de pH é temporário, porém o suficiente para promover a nitrificação.

² NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; WIERENGA, P.J. Nitrogen transport process in soil. In: STEVENSON, P.J. Nitrogen in agriculture soils. Madison, American Society of Agronomy, p.423-448, 1982.

³ SANDANAM, S.; KRISHNAPILLAI, S.; SABARATNAM, J. Nitrification of ammonium sulphate and urea in an acid red yellow podzolic tea soil in Sri Lanka in relation to soil fertility. Plant and Soil. Dordrecht, v. 49, p.9-22, 1978.

SÁ (1999) avaliando o conteúdo de N mineral (NO_3^- e NH_4^+) em amostras de solos coletadas em várias profundidades em um latossolo vermelho-escuro sob PD e plantio convencional, no município de Carambeí-PR, observou comportamento diferenciado para os sistemas de manejo, com os teores de NO_3^- na camada de 0 - 7 cm em ambos os sistemas de manejo sendo predominante, e os teores de NO_3^- no PD foram três vezes superior ao preparo convencional ao final de 10 semanas de incubação e nas camadas abaixo de 30 cm, predominou a forma amoniacal (NH_4^+) nos dois sistemas de manejo do solo.

HEINZMANN (1985) trabalhando em um latossolo roxo no Norte do Paraná, acompanhou a dinâmica de N após o corte de adubos verdes de inverno (aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, tremoço e trigo), para avaliar a influência sobre as culturas de verão (soja, milho e feijão). Observou menores resultados nos teores de NO_3^- no solo nas parcelas cultivadas com aveia preta, sendo os maiores teores encontrados nas parcelas com pousio. Obteve teores elevados de NO_3^- aos 56 dias com o nabo forrageiro. Entretanto a aveia proporcionou teores mais elevados aos 120 e 160 dias após o corte, podendo-se afirmar que a liberação de N dos resíduos de leguminosas ocorre nas primeiras semanas, devido principalmente a menor relação C/N dos materiais, enquanto na aveia preta a liberação de N é mais gradual, coincidindo com o estágio de florescimento e enchimento de grãos, tornando-se portanto, interessante do ponto de vista agrônomo e ambiental, pois esta sincronia da liberação de N pela aveia com a ontogenia da planta é de extrema importância, pois é neste período que ocorre uma maior demanda de N pela planta e o fornecimento de N justamente nesta fase de maior demanda provavelmente resultará em maiores produtividades, além é claro da possibilidade de ocorrer uma menor contaminação dos lençóis freáticos devido a menores perdas de N que podem ocorrer devido a maior absorção do mesmo pela planta.

SOUZA et al. (2000) avaliando os efeitos do PD e do plantio convencional sobre os teores de N-mineral do solo, obtiveram maiores valores de NO_3^- na profundidade de 5-10 cm no sistema convencional. Quando utilizou o PD, independente da adoção ou não da rotação ou sucessão de culturas, os teores mais elevados foram observados na camada de 0-5 cm (VARGAS et al. 1998). Isso é um indicativo de que ocorre na superfície um processo mais lento, porém constante, de mineralização do N orgânico, principalmente o N que está na forma de N protéico, aminoácidos, bases nitrogenadas, peptídeos e amino-açúcares.

Pesquisas a respeito do potencial de contaminação ambiental que pode ser causado pelo uso equivocado por parte dos agricultores favorecendo a lixiviação do nitrato, têm motivado pesquisas de caráter agro-ecológico a nível mundial, desde países do Reino Unido, onde tem-se observado o aumentado no teor de NO_3^- na água e tem-se gerado

discussões a respeito dos efeitos sobre a saúde humana, até nos da América do Norte, principalmente nos Estados Unidos onde pesquisas também têm-se desenvolvidas neste sentido ADDISCTOTT⁴, citado por RAMBO et al. (2004). Nos Estados Unidos a contaminação por NO_3^- superficial e das águas subterrâneas pela agricultura continua sendo de interesse nacional em esforço conjunto entre fabricantes, políticos, pesquisadores e fazendeiros para reduzir os níveis de NO_3^- . Recentes pesquisas realizadas nos Estados Unidos sobre a qualidade d'água, 3 das 12 áreas onde mais que 15% d'água subterrânea está contaminada com níveis bem acima do padrão de 10 mg L NO_3^- (USGS, 1999). Outra pesquisa em 1993 encontrou que mais de 50% das amostras analisadas ao Sudeste da Pensilvânia têm concentração maior que 10 mg NO_3^- (SWISTOCK et al. 1993).

No Brasil, também é importante que pesquisas sejam realizadas neste sentido, que práticas adequadas sejam adotadas por parte de todos os profissionais que estão ligados ao meio agrônomo a fim de evitar situações desconfortáveis futuramente. Talvez por as doses de N aplicadas serem menores no Brasil, justifique-se em parte a menor preocupação na avaliação dos impactos da fertilização nitrogenada no meio ambiente. No entanto, altas doses de N, leguminosas utilizadas de cobertura e dejetos animais, principalmente de suínos, merecem atenção quanto ao seu impacto no ambiente, tendo em vista o impacto que os dejetos tem causado em regiões de alta concentração de suínos como acontece em algumas regiões de Santa Catarina (CERETTA et al. 2002).

Apesar da existência desta pequena preocupação por parte de alguns estados, outros porém, tem evoluído mais quanto a esta questão, especificamente os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, isso se comprova pela recomendação de adubação nitrogenada na cultura do milho nestes estados, que sofreu uma expressiva melhora recentemente. A nova recomendação de N passou a considerar a cultura antecedente ao milho, somado ao teor de MO do solo e a expectativa de rendimento de grãos os quais já existiam anteriormente (AMADO et al. 2002). Partindo do princípio que o sistema de recomendação deve estar em constante aperfeiçoamento, a inclusão de parâmetros complementares de solo e de planta que possibilitem um monitoramento mais adequado da disponibilidade de N durante o ciclo da cultura objetivando maior precisão das doses recomendadas como também maior flexibilidade do manejo de N na cultura do milho são fundamentais, tanto do ponto de vista agrônomo, quanto do ponto de vista agro-ecológico, contribuindo desta forma, ao sistema como um todo, para que por si próprio se torne e seja sustentável passando de gerações para gerações.

⁴ ADDISCTOTT, T.M. Tillage, mineralization and leaching – foreword. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.53, p.163-165, 2000.

2.8 ÍNDICE NUTRICIONAL NITROGENADO (INN)

A otimização do uso de N pela cultura do milho é essencial para evitar a poluição das águas subterrâneas pelo nitrato. O potencial impacto da poluição na agricultura particularmente com N, tem se tornado a maior preocupação durante as últimas décadas. Este impacto ao meio ambiente pode ser reduzido substancialmente com a adequada aplicação de fertilizante (JANSEN et al. 2002). Para que isso ocorra se faz necessário o ajuste da entrada de N de forma econômica e ecologicamente compatível com a demanda da cultura. Porém, isto requer informações confiáveis do status de N no milho. Um indicador ideal do status de N para as culturas deveria estar apto a detectar deficiências e excessos, e a proporcionar um rápido diagnóstico de forma a permitir sua correção em quaisquer dos vários estádios de crescimento das plantas. O status de N pode ser obtido a partir de uma fração da planta ou a partir de uma fração do solo. Os indicadores podem ser classificados principalmente em três grupos, conforme o critério de monitoramento do status de N, a saber: a) concentração de nitrato, b) métodos ópticos, c) concentração total de N.

Para a presente pesquisa o indicador considerado mais adequado para se avaliar o status de N é aquele do tipo baseado na concentração total de N. Esta categoria de indicador utiliza-se da concentração total de N em órgãos específicos da planta, ou mesmo da planta inteira.

Segundo ULRICH (1952), nível crítico de nitrogênio (N_{crit}) é definido como a menor concentração de N requerida para permitir a máxima taxa de crescimento da cultura em um determinado estágio de seu crescimento. O N crítico pode ser assumido como função monomial da biomassa acima do solo é chamado de curva crítica de N diluído.

LEMAIRE et al. (1984 a, b) demonstraram que para gramíneas crescendo em situações não limitantes de suprimento de N, a concentração de N da cobertura vegetal pode ser relacionada ao acúmulo de massa seca (MS) pela simples equação:

$$N\% = a(MS)^{-b}$$

onde MS é a quantidade de massa seca produzida pela parte aérea da pastagem em $t\ ha^{-1}$ e N% é a concentração de N em % da massa produzida. O coeficiente a da equação representa a %N (INN) contida na parte aérea das plantas em uma massa conhecida, no caso $1\ Mg\ ha^{-1}$. No caso do milho este coeficiente é de 3,4 (plantas C4).

O coeficiente b caracteriza o comportamento da diminuição da percentagem de N durante o rebrote.

LEMAIRE et al. (1984a) estudando a quantidade de N absorvida por festuca (*Festuca arundinacea* Schreb) em diferentes anos, durante a rebrota de primavera depois de uma adubação nitrogenada não limitante no final do inverno, os autores observaram

grandes diferenças entre os anos, porém, a forma sob a qual a %N na planta diminuía com o aumento da biomassa produzida era similar para os diferentes anos. Desde modo, as diferenças de absorção de N entre os anos podem ser atribuídas às diferenças na dinâmica de crescimento da cobertura vegetal de acordo com as condições climáticas de cada período. A partir destes dados, LEMAIRE et al. (1984a) propuseram valores estáveis para os coeficientes a e b para que estes pudessem ser utilizados sob diferentes condições edafológicas, anos e cultivares, para pastagens que recebessem suficientes quantidades de N de modo a assegurar que o crescimento não fosse restringido pela disponibilidade de N no solo. A equação com tais valores é a seguinte:

$$N\% = 3,4 (MS)^{-0,37}$$

Um valor de INN (aqui também referido como N%) igual ou maior que 1,0 indica condição não limitante de N para o crescimento, entretanto valores de INN abaixo de 1,0 correspondem a situações de deficiência de N. A determinação do valor do INN para diferentes estágios de crescimento de uma cultura de milho permite a tomada de decisões mais seguras quanto ao fato de se efetuar ou não a aplicação de extra dose de N. Tal decisão estará em acordo com o status de N da cultura, e o N fornecido nutrirá a planta de modo a esta alcançar a máxima produtividade. Até o estágio de florescimento do milho, o valor máximo do número de grãos pode ser obtido somente quando o INN for maior ou igual que 1,0 – 1,05. A aplicação de adubos nitrogenados em períodos precoces leva a absorção de um excesso de N pela planta, o qual pode ser considerado como uma reserva. Na maioria das situações, a disponibilidade de N no solo até o fim do período de florescimento é geralmente insuficiente para suprir a demanda da cultura.

Quando a deficiência nutricional por N for detectada na cultura, o efeito de sua correção por meio da aplicação de N pode ser estimado calculando-se a taxa de N requerida e estimando-se o benefício trazido pela correção em termos de produtividade. PLÉNET⁵, citado por LEMAIRE (1997), encontrou para a cultura do milho valores de INN= 0,85 até o estágio de florescimento e demonstrou uma redução na produção de grãos de menos que 4% quando da correção de N era feita imediatamente, mas quando o INN atingia um valor de 0,55, a redução na produção de grãos foi de 15 a 25%, por mais que a correção da deficiência por meio da aplicação de N fosse realizada.

⁵ PLÉNET, D.; CRUZ, P. Fonctionnement des cultures de maïs sous contrainte azotée. Détermination application d'un indicateur de nutrition. Thèse Docteur, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 247 pp. 1995.

Em relação ao milho CERRATO et al. (1991), concluíram que para a produção de grãos, o Ncrit da forma tradicionalmente determinada, com a análise da folha oposta e abaixo da espiga, não é um indicador sensível para se avaliar o status de N. Por outro lado estudos efetuados por BINFORD et al. (1992), indicaram que em estágios precoces de crescimento, a concentração de N total da planta inteira também não é uma ferramenta segura para se avaliar a disponibilidade de N.

Em estudos similares desenvolvidos por PLÉNET et al. (1999) verificou-se que o Ncrit da planta inteira permanece constante em estádios precoces de crescimento, enquanto a biomassa é menor que 1 Mg MS ha⁻¹. Para a determinação do INN os autores estabeleceram duas equações, uma para as espécies C₃ (festuca, batata, trigo e feijão) e outra para as espécies C₄ (milho e sorgo) abaixo descritas:

$$C_3 \text{ N\%} = 4,8(\text{MS})^{-0.32}$$

$$C_4 \text{ N\%} = 3,6(\text{MS})^{-0.34}$$

A diferença entre os valores do coeficiente “a” para as espécies C₃ e C₄, respectivamente 4,8 e 3,6, refletem as diferenças existentes nos caminhos para assimilação de gás carbônico, as quais estão associadas a diferenças na anatomia das folhas das espécies destes vegetais (BROWN, 1985; FIELD e MOONEY 1986). O valor de 4,8 encontrado para as culturas C₃ corresponde ao valor para a máxima taxa de crescimento determinado para plantas jovens de alface (BURNS, 1992). O valor de 3,4 encontrado para C₄ corresponde à faixa ótima de concentração de N (3,5 – 3,8%) reportado para folhas de milho (HANWAY 1962; VOSS et al. 1970). A diferença entre os valores do coeficiente “a” para os dois tipos de espécies indica que, sob condições não limitantes ao suprimento de N, as plantas C₄ requerem somente 75% de N requerido pelas plantas C₃ para gerarem a biomassa. Para os estágios precoces de desenvolvimento a porcentagem de N crítico na planta não é bem definida devido à massa total da planta ser composta somente por componentes metabólicos. Em estádios precoces da cultura, com massa menor que 1,0 Mg ha⁻¹, a porcentagem de N na planta pode ser considerada constante e igual ao do coeficiente “a”. Dessa maneira a porcentagem de N crítico da planta pode ser estimada em qualquer estágio de crescimento através das duas seguintes equações:

$$\text{N\%} = a \quad \text{para MS} < 1,0 \text{ t ha}^{-1}$$

$$\text{N\%} = a(W)^{-b} \quad \text{para MS} > 1,0 \text{ t ha}^{-1}$$

2.9 RECOMENDAÇÕES E RESPOSTAS DO MILHO A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de N a ser aplicada, é a decisão mais importante no manejo de fertilizantes. Na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação nitrogenada alguns fatores devem ser levados em consideração para uma recomendação mais segura, tais como: condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (plantio direto ou convencional), época de semeadura, responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de N, aspectos econômicos e operacional. Isso enfatiza ainda mais a importância de que as recomendações de N sejam cada vez mais específicas conforme as características de cada região e não generalizadas.

O N é um elemento requerido em grandes quantidades pelas plantas, em especial pelas gramíneas, sendo o milho umas das mais exigentes. Tal exigência não é suficientemente suprida pelos solos devido às quantidades insuficientes de N que são por estes fornecidas. Portanto, esta exigência tem sido suprida quase na sua totalidade por fontes minerais AMADO e MIELNICZUK (2000).

Os riscos ambientais e econômicos provenientes da adubação nitrogenada podem ser elevados se ocorrer à combinação de altas doses de N associadas a altas precipitações no período de desenvolvimento da cultura. Desta forma se fez necessário o aprimoramento das recomendações das doses de N a ser aplicadas, procurando se atender à demanda da cultura com a mínima possibilidade de perdas de N para se evitar a contaminação ambiental (STANFORD⁶, citado por AMADO e MIELNICZUK, 2000).

No PD tem-se tido a preocupação com a menor disponibilidade de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, devido à mesma ser cultivada em sucessão a gramíneas e ao processo de imobilização ser maior nesta condição. BAYER (1993) afirma que a adubação nitrogenada no PD é feita de forma idêntica à do plantio convencional, aplicando-se naquele apenas 20 a 30% a mais de N na semeadura do milho.

YAMADA (1996) observa que lavouras que receberam de 30 a 50 kg ha⁻¹ de N na semeadura, demonstraram melhor desenvolvimento inicial e maiores produções que lavouras tradicionais com aplicação de 10 a 15 kg ha⁻¹ de N na semeadura do milho. Além da elevação das doses de N na semeadura, tem-se preconizado estratégias que visem aumentar os efeitos residuais do N tais como a aplicação antecipada de N em pré-semeadura e/ou maior intervalo entre a dessecação da aveia e a semeadura do milho.

⁶ STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. J. Environ. Qual.2:159-166, 1973.

A alternativa de se aplicar N no manejo da aveia preta, ou seja, em pré-semeadura do milho, só recentemente vem sendo estudada no Brasil. Esta técnica objetiva aumentar a oferta de N mineral à solução do solo para ser utilizado pela biomassa microbiana durante a fase inicial da decomposição dos resíduos culturais. A maior disponibilidade de N mineral para a biomassa microbiana permitiria um fluxo mais contínuo de N no solo pelo processo de mineralização, resultando em maior disponibilidade para o milho (SÁ, 1999). No entanto, não se deve levar em consideração somente à aplicação de N em pré-semeadura visando sua liberação posterior para o milho, é necessário que exista uma sincronia do N liberado da palhada de aveia com o período de maior demanda de N pelo milho. Mesmo que a adubação nitrogenada na aveia preta contribua para o incremento da disponibilidade de N à cultura em sucessão, o deslocamento total dessa adubação para a aveia não é uma estratégia eficiente para atender plenamente a demanda do milho (AMADO et al., 2003).

Tem-se obtido diferentes respostas no rendimento de grãos de milho em PD com a aplicação de N em pré-semeadura do milho. Em alguns trabalhos o rendimento tem sido maior que o convencional (parcelamento de N) em anos que apresentam distribuição pluviométrica normal (CERETTA et al. 1997; BASSO, 1999). Já em anos de chuvas intensas o rendimento de grãos foi inferior ao manejo tradicional da adubação nitrogenada (BASSO e CERETTA 2000), quando usaram todo o N em pré-semeadura em relação ao sistema tradicional com parte do N na semeadura do milho e o restante em cobertura, associado a um período de alta precipitação pluviométrica.

A cultura antecedente ao milho também passou a ser relevante no momento da recomendação da adubação nitrogenada, principalmente para a cultura do milho. Se a cultura antecessora for uma leguminosa haverá uma maior disponibilidade de N no sistema em relação a uma gramínea. Caso não seja levada em consideração esta contribuição, poderá ocorrer uma adubação equivocada, ou seja, uma sub ou superestimação das doses. Se subestimada, ocorrerá a redução da produtividade, quando superestimada, diminuem a rentabilidade do produtor pelo gasto desnecessário com N, além de afetar o meio ambiente, em consequência das perdas de N devido às condições de excesso de N disponível (ARGENTA et al. 2003).

Procurando-se evitar uma recomendação equivocada por não se levar em consideração a contribuição da cultura antecessora, começou-se a desenvolver pesquisas nesta área procurando-se a obtenção da melhor seqüência de rotações de culturas, e que fornecesse ao mesmo tempo materiais em quantidade e qualidade, suficientes para disponibilizar N, mesmo que em pequenas quantidades, mas que suprissem parcialmente com N as exigências das plantas nos estádios iniciais de desenvolvimento, pois o cultivo alternado entre gramíneas e leguminosas provoca respostas diferenciadas à adubação

nitrogenada. O conhecimento desses processos é fundamental para que as plantas de cobertura possam ser eficientemente introduzidas em sistemas de produção de milho, sendo necessário se compatibilizar a máxima persistência dos resíduos culturais na superfície do solo com o fornecimento adequado de N ao milho. Comprovando estas respostas diferenciadas de milho à adubação nitrogenada em função das culturas antecessoras, MUZILLI et al. (1983), obteve produtividades superiores a 8.000 kg ha⁻¹ com milho em sucessão a leguminosas. Neste caso a adubação nitrogenada não teve influencia sobre a produtividade.

DERPSCH et al. (1985) avaliando diversas coberturas verdes de inverno demonstraram que o uso das leguminosas antecedendo o milho proporcionou maior rendimento de grãos do que o uso de gramíneas. Sem o uso de N, o rendimento de grãos de milho na seqüência adotada soja/tremoço/milho, foi de 6.130 kg ha⁻¹, enquanto na seqüência milho/pousio/milho e milho/tremoço/milho foi de 2.560 e 5.715 kg ha⁻¹ respectivamente.

Avaliando o efeito de forma isolada e em consórcio de aveia preta/ervilhaca, BORTOLINI et al. (2000), obtiveram aumento linear da produtividade de grãos quando cultivado em sucessão à aveia, seja em cultivo isolado, seja em consórcio com ervilhaca. Por outro lado, não houve resposta em produtividade de grãos à adubação nitrogenada quando o mesmo foi cultivado em sucessão a ervilhaca.

HEINRICHS et al. (1996) também observaram maior produtividade de grãos de milho quando cultivado somente sobre a ervilhaca, diminuindo à medida que a proporção de aveia foi aumentando no consórcio. Os autores atribuem as maiores produtividades do milho em sucessão as leguminosas, à maior disponibilidade de N no solo, possivelmente pela maior mineralização de N ocorrida por estes materiais, pois os mesmos apresentaram uma relação C/N inferior que as gramíneas, as quais imobilizam o N principalmente no início da decomposição de seus resíduos.

SÁ (1999) observou que a utilização de 30 kg ha⁻¹ N na aveia preta proporcionou o mesmo resultado que a aplicação de N na semeadura do milho. Outro tratamento com a aplicação de todo o N até a semeadura (90 kg ha⁻¹ no manejo da aveia + 30 kg ha⁻¹ na semeadura do milho) obteve mesmo resultado que a aplicação de (30 kg ha⁻¹ na semeadura e 90 kg ha⁻¹ em cobertura no milho respectivamente), isso fornece indícios de um fluxo de N no solo mais estável, picos de imobilização mais baixos e a importância de se levar em conta o histórico da área e o sistema de produção adotado, proporcionando mais segurança na tomada de decisão de qual é a melhor dose e manejo de N a ser adotado.

SÁ (1989) conduziu três experimentos na região de Tibagi, Castro e Carambeí. Os tratamentos foram constituídos de 0, 30 e 60 kg ha⁻¹ de N aplicados na semeadura,

combinados a doses em cobertura 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N parceladas em duas vezes. O autor observou que a dose de 30 kg ha⁻¹ de N no sulco de semeadura proporcionou resultados em termos de rendimento de grãos equivalentes à dose de 120 kg ha⁻¹ N em cobertura. Segundo o autor, estes 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura foram suficientes para promover um melhor “arranque” inicial, eliminando a carência inicial de N, devido à imobilização de N pela palhada de aveia preta, já que em todos os experimentos o milho foi semeado após esta cultura. Provavelmente a aplicação de N na semeadura permitiu a utilização de uma parte deste N pela biomassa microbiana e outra pela planta de milho, além de uma provável contribuição pela decomposição dos resíduos de aveia preta, pois segundo DERPSCH (1985) a aveia preta apresenta alta capacidade de extração e acumulação de N na planta, aproximadamente de 147 kg ha⁻¹ de N.

BASSO (1999) obteve diferentes resultados de produtividade em dois anos de experimento quando da antecipação de N em ano de precipitação normal e precipitação excessiva, obtendo produtividades maiores com a antecipação de N em ano normal, e produtividades menores com a antecipação de N em ano com precipitação excessiva. Portanto, a prática de aplicação antecipada de N deve ser criteriosa e cautelosa, principalmente em solos arenosos ou em anos com alta precipitação, não que deva ser deixada de ser usada, pois é uma técnica que pode ser vantajosa sobre determinados pontos para o agricultor, desde que usada de forma correta.

De acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (2004), a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho é realizada baseando-se no teor de MO do solo, na cultura antecedente e na expectativa do rendimento da cultura de aproximadamente 4.000 kg ha⁻¹. Para rendimentos de grãos acima de 4.000 kg ha⁻¹ recomenda-se acrescentar 15 kg ha⁻¹ de N por tonelada a mais de grãos produzidos. Supondo-se uma produção de 10.000 kg ha⁻¹, com o solo contendo 3% de MO e a cultura antecessora sendo uma gramínea, a recomendação seria de 160 kg ha⁻¹ N.

RAIJ et al. (1996) recomenda para obtenção de alta produtividade de 10.000 - 12.000 kg ha⁻¹ de grãos de milho, a aplicação de 30 kg ha⁻¹ N na semeadura e 140 kg ha⁻¹ em cobertura. BISSANI et al. (2004), recomenda a aplicação de 20 a 30 kg ha⁻¹ de N, na semeadura do milho quando o mesmo for cultivado sobre resíduos de gramínea e de 10 a 15 kg ha⁻¹ de N quando o mesmo for cultivado sobre resíduos de leguminosas.

YAMADA (1996) ressalta que para obtenção de uma produtividade de grãos próxima de 10.000 kg ha⁻¹ deva-se aplicar entre 150 e 200 kg ha⁻¹ de N. BULL (1993) salienta que a magnitude das respostas da cultura do milho à N em ensaios realizados pelo Brasil tem sido bastante variáveis, porém respostas significativas tem sido obtidas com doses de 30 a 90 kg ha⁻¹ N. O mesmo autor relata que na maioria dos estudos realizados no

Brasil com doses de N mostram que os melhores resultados são obtidos com a aplicação de 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e de 90 a 120 kg ha^{-1} de N em cobertura.

A época de aplicação de N em cobertura no milho também é um fator preponderante que impreterivelmente deve ser levado em consideração, pois usualmente tem se dada mais atenção aos aspectos operacionais e climáticos do que aqueles relacionados à própria fisiologia da planta. Segundo FANCELLI e DOURADO NETO (1996), levando em consideração os estádios fenológicos do milho, a adubação nitrogenada em cobertura deveria ser feita quando as plantas estiverem com 4 a 8 folhas completamente desenroladas.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O trabalho experimental foi conduzido a campo, no ano agrícola de 2003/2004, na área experimental do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Pato Branco, PR, Brasil. A área experimental está localizada na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense e encontra-se entre as coordenadas de 25° 07' Sul e 52° 41' Oeste e com altitude média de 700m.

3.2 CARACTERÍSTICA DE SOLO E CLIMA

O solo onde o experimento foi desenvolvido é classificado como um LATOSSOLO VERMELHO, textura argilosa (EMBRAPA, 1984). O clima predominante da região segundo a classificação de Köppen é o Cfa - Clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (MAAK, 1968). A temperatura média anual é de 19 °C e a precipitação anual varia de 1800 a 2500 mm com uma umidade relativa do ar media de 70% (IAPAR, 2004). A média das temperaturas máximas, mínimas e precipitações que ocorreram durante o experimento estão ilustradas na FIGURA 2.

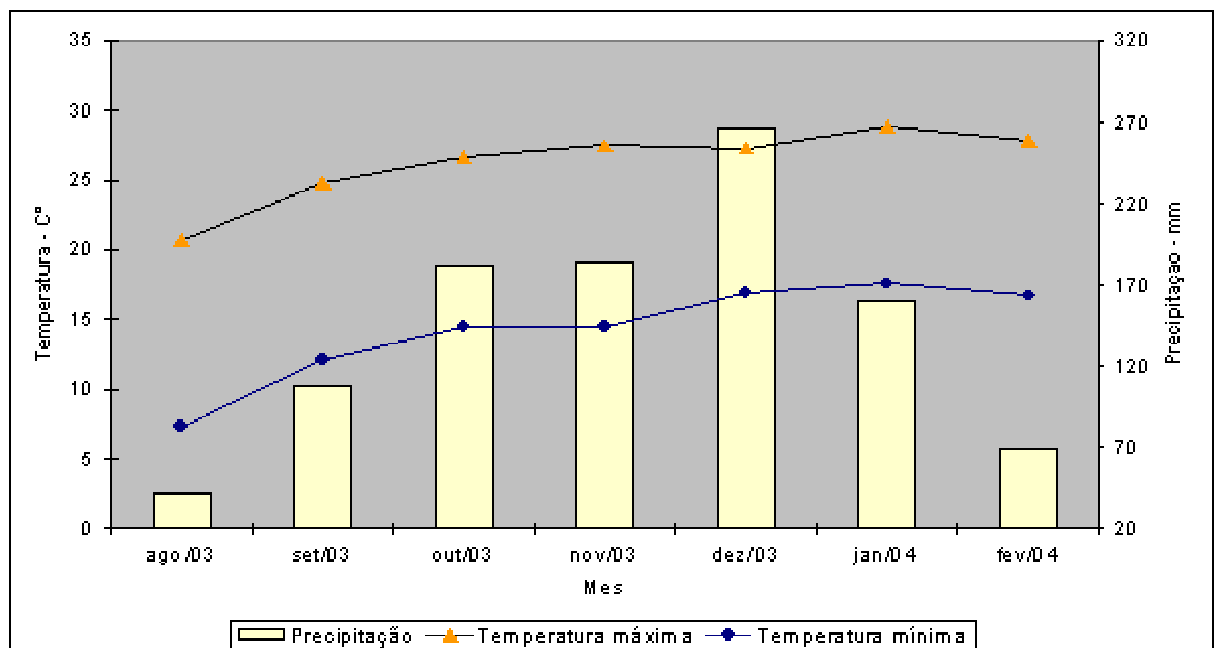


FIGURA 2 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO MENSAL DURANTE O PERÍODO DE AGOSTO A FEVEREIRO DE 2003/2004, PATO BRANCO, PR.

A área experimental estava sendo utilizada em sistema de plantio direto há mais de 10 anos. Existia um sistema de rotação adotado nesta área entre leguminosas e gramíneas, sendo que durante o período de verão eram feitos cultivos alternados de milho e soja e no inverno era feita à rotação com cereais, nabo forrageiro e tremoço. No dia da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo para caracterização química da área nas profundidades de 0 a 5 cm; 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm, cujos os resultados estão expressos na TABELA 2 e TABELA 3.

TABELA 2 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM TRÊS PROFUNDIDADES, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO (29/09/2003). (MACRONUTRIENTES, NITRATO E. AMÔNIO)

Prof.	pH	MO	Al ³⁺	H+Al	Ca	Mg	K	P	V	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
cm	CaCl ₂	mg dm ⁻³	cmol _c ⁽⁺⁾ dm ⁻³				mg dm ⁻³	%	..	mg dm ⁻³
0-5	5,4	45,9	0,0	5,1	7,8	3,6	0,5	14,6	70,0	57,7	36,6
5-10	5,2	37,0	0,0	5,3	6,9	3,4	0,3	10,6	66,3	50,6	32,9
10-20	5,1	31,0	0,0	5,2	6,4	2,1	0,3	6,8	66,7	50,8	33,2

MO = Matéria orgânica V = Saturação de bases N-min = (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺)

TABELA 3 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM TRÊS PROFUNDIDADES, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO (29/09/2003) MICRONUTRIENTES

Prof.	Cu	Zn	Fe	Mn
cm		mg dm ⁻³		
0-5	3,65	32,20	1,78	39,24
5-10	4,46	35,97	1,18	32,59
10-20	4,85	41,07	0,83	25,9

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições conforme o croqui experimental da área observado na FIGURA 3, os tratamentos constavam de quatro doses crescentes de N em cobertura:

- 0 kg ha⁻¹N na forma de uréia
- 60 kg ha⁻¹ N na forma de uréia
- 120 kg ha⁻¹ N na forma de uréia
- 240 kg ha⁻¹ N na forma de uréia

BLOCO I	BLOCO II	BLOCO III
DOSE 60 N kg ha ⁻¹	DOSE 240 N kg ha ⁻¹	DOSE 120 N kg ha ⁻¹
DOSE 120 N kg ha ⁻¹	DOSE 60 N kg ha ⁻¹	DOSE 0 N kg ha ⁻¹
DOSE 0 N kg ha ⁻¹	DOSE 120 N kg ha ⁻¹	DOSE 60 N kg ha ⁻¹
DOSE 240 N kg ha ⁻¹	DOSE 0 N kg ha ⁻¹	DOSE 240 N kg ha ⁻¹

FIGURA 3 - CROQUI ÁREA EXPERIMENTAL COM A DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS NAS PARCELAS, PATO BRANCO – PR, 2003/2004.

A área experimental encontrava-se sob cultivo de aveia preta (IAPAR, 61), sendo que duas semanas antes da semeadura do milho a mesma foi dessecada (05/09/2003), com utilização de 1,5 L ha⁻¹ do herbicida glifosate.

No dia 18 de setembro de 2003 foi realizada a semeadura do milho, utilizando-se o híbrido DEKALB 215, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,90 m entre linhas, apresentando uma população final de 65.000 plantas ha⁻¹. Cada parcela apresentava uma área de 35 m² com uma área útil de 13,5 m². A quantidade de MS da aveia era de aproximadamente 7.800 kg ha⁻¹ MS, como pode ser observado na FIGURA 4.



FIGURA 4 - DIA DA SEMEADURA DO MILHO NO EXPERIMENTO (18 DE SETEMBRO DE 2003).

A área foi adubada no sulco com 300 kg ha⁻¹ do formulado 04-30-10. No estágio V2-V3 das plantas de milho (10/10) foi aplicado o ingrediente ativo Atrazina + Simazina na dose de 6 L ha⁻¹ para controle das ervas daninhas. No mesmo período também foi aplicado 150 mL ha⁻¹ do ingrediente ativo lambdacyhalothrin, para o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). As doses de uréia foram parceladas em duas vezes. A primeira aplicação, metade da dose, foi feita no estágio V5-V6 da cultura (21/10/03) e a segunda aplicação no estágio V9-V10 (20/11/03) de acordo com a FIGURA 5

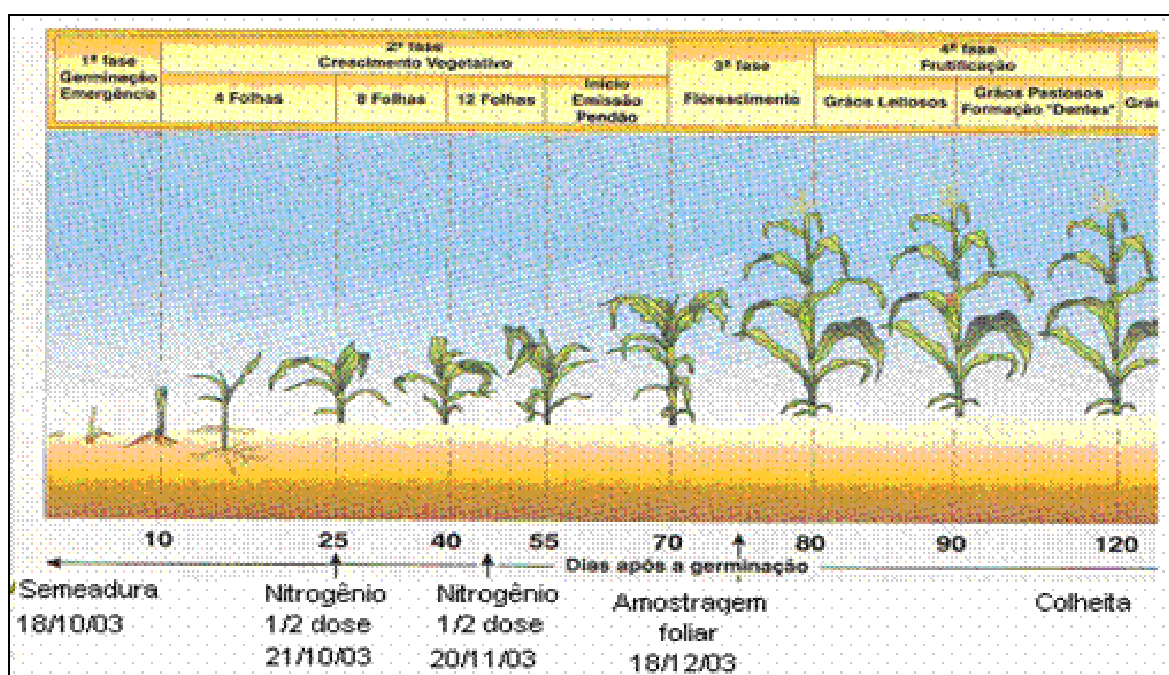


FIGURA 5 - DATA DE APLICAÇÕES DOS TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DOS DIAS APÓS EMERGÊNCIA, PATO BRANCO, 2003/04.

FIGURA adaptada do folheto técnico: BASF – Programa de adubação foliar em milho

3.4 COLETA DE SOLO PARA ANÁLISE

A amostragem de solo para caracterização química da área experimental foi realizada antes do plantio do milho. Foram coletadas com pá de corte doze amostras simples para formar uma amostra composta por bloco. Cada ponto de coleta foi estratificado em três profundidades (0 a 5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 20 cm). As amostras foram encaminhadas para serem analisadas, no Laboratório de Análises de Solos do IAPAR/UTFPR.

O pH do solo foi determinado em solução de CaCl₂ 0,01 M. O cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos com solução de KCl 1N. A extração de fósforo e potássio foi feita pela solução de Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N). O carbono orgânico foi determinado pelo método colorimétrico com oxidação pelo dicromato de potássio. As

análises de micronutrientes foram determinadas no aparelho espectrofotômetro de absorção atômica, o extrator utilizado foi o Mehlich 1.

Para a determinação dos teores de NO_3^- e NH_4^+ foram realizadas três amostragens em épocas distintas. A primeira coleta foi realizada um dia antes do plantio (17/09/03); a segunda ocorreu no dia 18/12/03 e a terceira no dia 14/01/03. Assim que eram coletadas as amostras, ainda no campo as mesmas eram colocadas dentro de caixas térmicas e depois foram armazenadas na geladeira, sendo no dia seguinte colocadas para secar em estufa com ar forçado a 50°C por 48 horas. Após secas, estas amostras eram moídas e posteriormente analisadas. Os teores de nitrato e amônio foram determinados pelo método Kjeldahl (EMBRAPA, 1999).

3.5 COLETAS DE PLANTAS INTEIRAS PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE NUTRICIONAL NITROGENADO E N FOLIAR

As amostras para a determinação do teor de N da massa seca de milho foram coletadas aos 45, 90, 120 e 145 dias após a emergência. Foram coletadas 4 plantas inteiras de milho em 1,0 m linear escolhidas aleatoriamente dentro da parcela, as plantas eram cortadas rente ao solo, seguindo o mesmo procedimento para cada coleta. Este material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60°C , por um período de 72 horas, em seguida foram pesados para determinação da MS, moídos inicialmente em um triturador de forrageiras, sub-amostradas e moídos novamente em moinho Willye e armazenados em tubos plásticos para posteriormente serem analisadas no laboratório. Foram determinados os teores de nitrogênio total por meio de digestão sulfúrica, método Kjeldahl, conforme descrito por (TEDESCO et al. 1995).

3.6 COLETA E ANÁLISE FOLIAR

Foi coletada a primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga FIGURA 6, quando as plantas estavam em torno de 50% pendoadas (11/12/03). Cada amostra foi constituída de dez folhas. As amostras foram trituradas em moinho tipo Willye, e armazenadas em sacos plásticos para posteriormente serem analisadas.

Foram determinados os teores de nitrogênio total por meio de digestão sulfúrica (método Kjeldahl) conforme descrito por EMBRAPA (1999), titulados com HCl 0,01 M.



FIGURA 6 – AMOSTRAGEM DA FOLHA PARA A REALIZAÇÃO DA ANÁLISE FOLIAR – PRIMEIRA FOLHA ABAIXO E INVERSA À ESPIGA

3.7 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A produtividade de grãos de milho foi determinada em uma área útil de 13,5 m² de cada parcela, posteriormente foi feita a correção da umidade para 13%. A partir da obtenção do valor de produtividade de grãos de cada tratamento, efetuou-se a média da produtividade para cada tratamento, em seguida este valor foi convertido para Kg ha⁻¹. A colheita foi realizada de forma manual no dia 19 de fevereiro de 2004 e a debulha foi realizada em uma máquina elétrica.

3.8 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE ABSORVIDA DE NITROGÊNIO

A determinação da relação entre a absorção de N pela planta e a produção de biomassa pela cultura foi determinada segundo LEMAIRE (1997), através da seguinte fórmula:

$$N_c = 34(MS)^{0,63}$$

Onde N_c = N crítico é a quantidade de N absorvida em kg ha^{-1} de N, 34 corresponde à quantidade de N necessária para a produção de 1 Mg ha^{-1} de biomassa e 0,63 corresponde ao coeficiente entre a quantidade de absorvida e a taxa de crescimento de biomassa pela cultura.

3.9 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica foi realizada a partir do custo de produção para 1 ha da cultura de milho, feito pela SEAB/DERAL (2003) conforme Anexo 1. Adotou-se este custo base como fixo, utilizando-se apenas as doses de N como variável, acrescentando sobre o custo base este custo variável, obteve-se o custo total para a produção de 1 ha. O custo do kg de N em setembro de 2003 era de R\$ 1,77 ou U\$ 0,62. Enquanto o preço do kg de milho pago na média do mês de fevereiro de 2004 era de R\$ 0,26 ou U\$ 0,09

3.1.0 Análise estatística

As variáveis que se mostraram homogêneas tiveram os tratamentos avaliados pelo Teste F. Quando os resultados revelaram significância a 5% ou 1% de probabilidade as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram ajustadas regressões polinomiais entre os níveis de N (variável independente) com as demais variáveis dependentes buscando o modelo que melhor expressasse esta relação. Foram testados modelos linear e quadrático e a escolha foi baseada na significância (menor que 5%), e no coeficiente de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUTIVIDADE E TEOR DE N FOLIAR

De acordo com os resultados obtidos observou-se influência estatística significativa ($P < 0,05$) das doses crescentes de nitrogênio sobre a produtividade de grãos Anexo 2 e sobre os teores de N foliar Anexo 3. O incremento das doses de N proporcionou acréscimos lineares na produtividade conforme demonstra a FIGURA 7, para cada kg de N adicionado houve o retorno de 26 kg ha^{-1} de grãos de milho. Mesmo com a dose máxima de N aplicado ($240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$), não foi possível obter a máxima eficiência técnica, pois a cultura continuou respondendo de forma linear em produtividade ao incremento das doses de N.

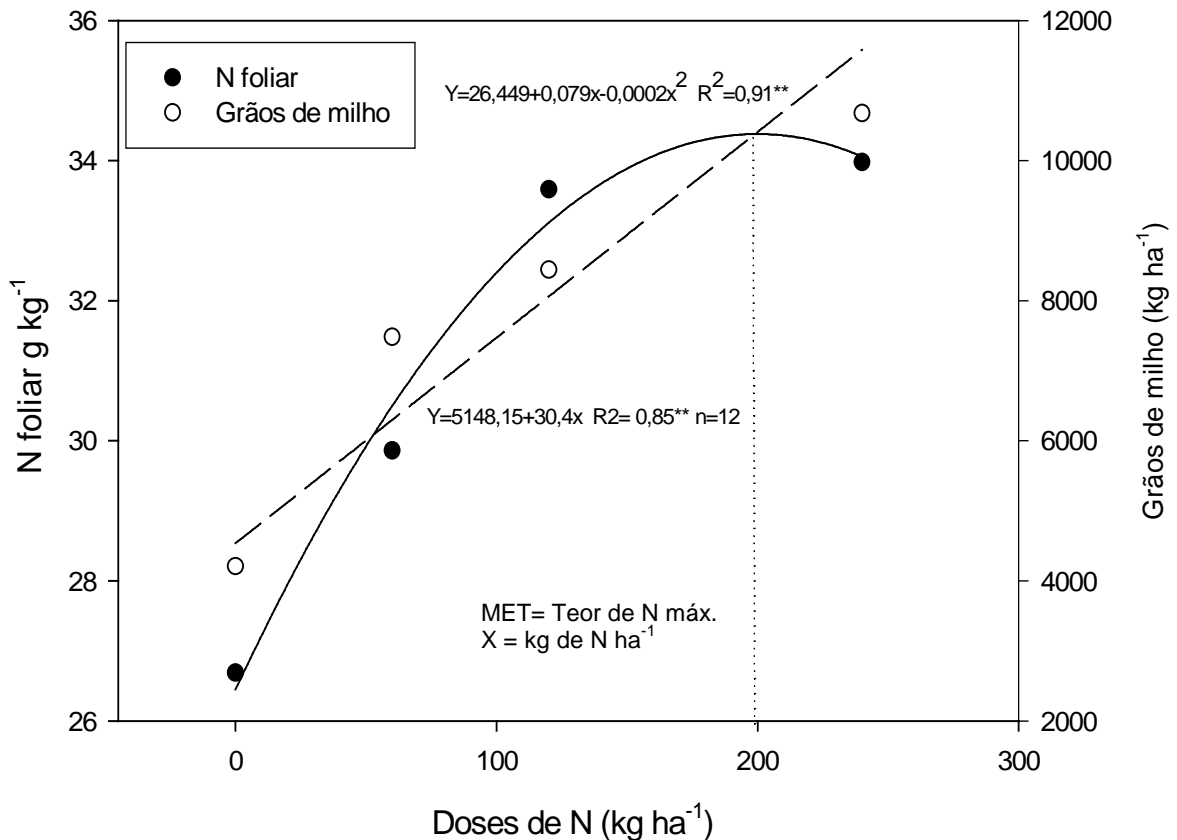


FIGURA 7 - PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO (kg ha^{-1}) E TEORES DE N FOLIAR (g kg^{-1}) EM FUNÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO APLICADAS NO MILHO, PATO BRANCO, PR, 2003/2004

Esse aumento indica que a disponibilidade de N foi limitante nas parcelas, tanto na testemunha como nas demais, o que explica a linearidade da produtividade em função das doses. Foi possível se obter um incremento de 43% na produtividade quando se passou da

testemunha ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) para a dose de $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, dados estes que estão de acordo os obtidos por BORTOLINI et al. (2000) que obteve um aumento de aproximadamente 47%, e a curva de resposta em produtividade foi linear até a máxima dose testada de 160 kg ha^{-1} .

De acordo com os resultados obtidos por BOBATO et al. (2003), observa-se o mesmo comportamento da curva de produtividade em função das doses crescentes de N no ano agrícola de 2002/2003, porém, naquele ano a produtividade foi bem superior se comparada com a produtividade obtida nesta pesquisa, principalmente na testemunha 9.245 kg ha^{-1} e $14.173 \text{ kg ha}^{-1}$ com a dose máxima de 240 kg ha^{-1} de N respectivamente, contra 4.208 kg ha^{-1} na testemunha e $10.678 \text{ kg ha}^{-1}$ na dose máxima de 240 kg ha^{-1} de N obtida nesta pesquisa.

Mesmo assim, o patamar de produtividade alcançado de $10.678 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos de milho com a dose máxima aplicada de $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ pode ser considerada como uma excelente produtividade. BORTOLINI et al. (2002) alcançou produtividade de 9.470 kg ha^{-1} com aplicação de 150 kg ha^{-1} . ARAÚJO et al. (2003) obteve índices de produtividade bem semelhantes para a dose de $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ em um Latossolo Vermelho-Escuro, textura-argilosa, no Estado de São Paulo, $11.203 \text{ kg ha}^{-1}$ com dose de $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, porém, em relação à testemunha o rendimento que ele obteve foi o dobro 8.755 kg ha^{-1} . Os autores atribuíram esta alta produtividade na testemunha devido ao alto teor de MO no solo, além do milho ter sido cultivado sobre resíduos de soja. Considerado apenas o parâmetro de produtividade, não levando em consideração outros parâmetros como o econômico e ambiental, observa-se que a dose de $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ é a que tem proporcionado os melhores rendimentos em termos de produtividades, como a obtida nesta pesquisa, dose muito próxima da quantidade de N a ser adicionada para a obtenção do máximo rendimento da cultura do milho após uma sucessão aveia/milho determinada por AMADO e MIELNICZUK (2000) de $230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$.

A baixa produtividade na testemunha pode ser atribuída ao fato do milho ter sido cultivado seqüencialmente sobre resíduos de gramíneas, em específico sobre resíduos de aveia, causando uma carência inicial de N, levando o solo a uma redução na capacidade no fornecimento de N para as culturas, proporcionando uma redução progressiva da produtividade, agravando cada vez mais a manutenção de níveis satisfatórios de N no solo. BASSO e CERETTA (2000) confirmam esta baixa produtividade do milho em sucessão a aveia sem a aplicação de N, obtiveram 5.616 kg ha^{-1} , bem inferior aos 7.230 kg ha^{-1} obtidos com a aplicação de $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$.

Outro fator que justifica esta baixa produtividade é a provável carência de N, que afetou o crescimento vegetativo da planta e reduziu a área fotossintética das plantas, além

das plantas apresentarem menor estatura em relação aos demais tratamentos conforme demonstra a FIGURA 8.



FIGURA 8 - DIFERENÇA DE ESTATURA E DE ÁREA FOLIAR ENTRE OS TRATAMENTOS (0, 60, 120 E 240 KG HA⁻¹)

A formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares e de N de órgãos vegetativos, principalmente das folhas para outros órgãos (CRAWFORD et al. 1982). Dessa forma, o rendimento de grãos está diretamente relacionado com a área fotossinteticamente ativa da planta. As folhas bem nutridas em N apresentam maior capacidade de interceptação de luz, assimilação de CO₂ e produção de carboidratos, resultando maior acúmulo de MS e maior rendimento de grãos. Todos os demais fatores foram favoráveis para a cultura durante a condução do experimento a campo, como exemplo as condições climáticas.

Segundo FANCELLI e DOURADO NETO (2000) as condições térmicas ideais para a cultura do milho devem ser de 25 a 30 °C e um suprimento hídrico de no mínimo 350 a 500 mm, o qual foi favorável durante a realização do experimento conforme demonstra a FIGURA 2, com temperaturas máximas variando de 25 a 30 °C e temperaturas mínimas de 15 °C, precipitação bem distribuída e em quantidades suficientes para o milho expressar todo seu potencial produtivo, tendo em vista a variedade de milho utilizada ser de alto potencial genético.

Além destas características, o solo apresentava alta fertilidade conforme a análise química observada na TABELA e TABELA . Para o crescimento normal de uma planta, a mesma não depende apenas da concentração, na forma disponível, de um dado nutriente no meio de crescimento, mas também das quantidades relativas de outros elementos que estão disponíveis BULL (1993). Permitindo maior desenvolvimento das plantas, resultando em maior área foliar, aumentando a capacidade da taxa fotossintética da planta, conseguindo interceptar mais luz, produzindo e translocando mais fotoassimilados para os grãos, gerando maior número e/ou maior peso dos grãos. Caso contrário, em condições de deficiência de N, a divisão celular nos pontos de crescimento é retardada, o que resulta em redução na área foliar e no tamanho da planta, com reflexos negativos na produção de grãos de milho, isto é possível de ser observado visualmente na plantas a diferença de crescimento das mesmas entre as doses.

FIGURA 9.



FIGURA 9 – DIFERENÇA NO CRESCIMENTO DAS PLANTAS ENTRE A PARCELA TESTEMUNHA 0 KG HA⁻¹ N (A), PARCELA COM A DOSE DE 240 KG HA⁻¹ N (B)

Existe um comportamento diferenciado entre leguminosas e gramíneas no fornecimento de N ao milho, isto se explica pela capacidade que as leguminosas possuem em fixar o N₂ atmosférico, pelas diferenças na relação C/N e na composição bioquímica que estas espécies apresentam, características inerentes ao tecido vegetal com reflexos diretos sobre a velocidade de decomposição, consequentemente disponibilidade de N (RECOUS et al. 1995). A aveia possui elevada capacidade de extração e acumulação de N na planta (147 kg ha⁻¹ N) (DERPSCH, 1985), além da alta relação C/N, proporcionando predomínio do processo de imobilização de N sobre a mineralização, isso na presença de alta quantidade de MS sobre a superfície do solo, o que foi observada nesta pesquisa, média de 7.800 kg

ha⁻¹ MS. Resultado semelhante ao encontrado por BASSO (1999), que obteve 7.207 kg ha⁻¹ de MS e superiores aos 5.030 kg ha⁻¹ obtidos por LANG (2000) em estágio vegetativo e 5.700 kg ha⁻¹ por BORTOLINI et al. (2002).

Quando ocorre a adição de resíduos culturais com alta relação C/N, antes do plantio de uma cultura, isso proporciona um grande consumo de N por parte da biomassa microbiana do solo, imobilizando este N na massa molecular, causando a deficiência do mesmo para a cultura sucessora, isso foi observado por BORTOLINI et al. (2000), para cada 10% de substituição de aveia por ervilhaca, ocorreu um incremento na produtividade de 321 kg ha⁻¹. HEINRICHS et al. (1996) também observaram maior produtividade de grãos de milho quando o mesmo foi cultivado sobre 100% de ervilhaca e à medida que aumentou a proporção de aveia no consórcio a produtividade diminuiu. AMADO et al. (2003) observaram que o acréscimo em 10 unidades na relação C/N dos resíduos de aveia, houve uma redução no rendimento de grãos de 922 e 779 kg ha⁻¹ para os anos de 1998 e 1999 respectivamente quando os experimentos foram conduzidos. Para que o carbono da palha de aveia possa ser utilizado na biossíntese e como fonte de energia, os microrganismos imobilizam N mineral do solo, diminuindo a disponibilidade posterior do mesmo para o milho. Somando-se a isso, pode-se associar o baixo fornecimento de N na semeadura 12 kg ha⁻¹ N, que provavelmente foi utilizado em parte ou na totalidade pela biomassa microbiana, pois neste período há intensa atividade microbiana ocorrendo concomitantemente à imobilização de N, o ideal é que ocorra um fornecimento 30 kg ha⁻¹ N no momento da semeadura do milho para evitar que o desenvolvimento inicial das plantas sejam prejudicados. Neste caso a hipótese seria a ocorrência da interrupção de um fluxo contínuo de N ocasionado pelo cultivo seqüencial de gramíneas, resultante do processo de imobilização, não suprimindo a carência inicial de N, proporcionando a cultura menor arranque na fase inicial de desenvolvimento. Isto justifica e reafirma ainda mais a teoria de um maior aporte de N na semeadura procurando reduzir a carência inicial de N e a extrema importância da rotação de cultura na ciclagem dos nutrientes e fornecimento dos nutrientes em especial do N.

A alta produtividade alcançada por BOBATO et al. (2003) mesmo na testemunha comparados aos dados obtidos agora, foi atribuído ao fato do milho ter sido cultivado sobre resíduo de leguminosa, no caso em específico a soja, a qual apresenta baixa relação C/N (15 a 20:1), além da grande quantidade de N proveniente da fixação biológica, pois a soja é uma das culturas que mais contribui em N para o sistema e para a cultura sucessora, requerendo para uma produtividade de 3000 kg ha⁻¹ aproximadamente 250 kg ha⁻¹ N, que em menor parte é fornecido pelo solo (15%) e em grande parte (85%) fornecido pela fixação biológica, sendo que destes, 192 kg ha⁻¹ N permanecem nos resíduos e possivelmente são utilizados pela cultura sucessora (BORKERT et al. 1994; EMBRAPA, 1999).

Segundo ESCOSTEGUY et al. (1997), a quantidade de N requerida para produtividade de 1.000 kg ha⁻¹ de milho é de 20 kg ha⁻¹ N. Desta forma, a capacidade de fornecimento de N pelo solo foi de 84,16 kg ha⁻¹ N, tendo em vista a produtividade ter sido de 4.208 kg ha⁻¹, muito baixa se comparada com a quantidade de N fornecida pelo solo obtido por BOBATO et al. (2003), onde a quantidade de N fornecida pelo solo naquele ano foi de 184,9 kg ha⁻¹ N e a produtividade em torno de 9.000 kg ha⁻¹, apenas ressaltando que naquele ano o milho foi cultivado numa rotação de culturas onde existia a inclusão de leguminosas, o que na pesquisa atual o milho entrou numa seqüência de monocultura entre gramíneas.

Conforme o Anexo 3, constou-se influência estatística significativa das doses crescentes de N aplicado em cobertura sobre os teores de N foliar. Ocorreu aumento de forma quadrática do teor de N foliar em resposta as doses crescentes de N, atingindo pico máximo de 34 g kg⁻¹ N na dose de 200 kg ha⁻¹ N, quando então, houve a inclinação da curva. Este teor de 34 g kg⁻¹ N foliar proporcionou uma produtividade aproximada de 10.000 kg ha⁻¹ de grãos de milho FIGURA 7. Estes teores encontrados estão adequados para o crescimento normal das plantas segundo COELHO e FRANÇA (2003). Segundo estes autores os níveis adequados estão na faixa de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ por ocasião da diagnose foliar.

MALAVOLTA (1980) indica 30 g kg⁻¹ de N na MS no tecido foliar do milho como valor crítico de N na folha e segundo ARNON⁷ citado por ASSMANN (2001), quando os teores de N-foliar são maiores que 31 g kg⁻¹ pouca ou nenhuma resposta de aumentos de produtividades são esperados quando doses de N são adicionadas ao solo.

Nesse sentido, ficou evidente neste trabalho que para todas as doses de N os teores de N foliares observados estão acima dos níveis indicados, ou seja, dentro dos padrões que a pesquisa recomenda, exceto a testemunha que apresentou valor abaixo do nível crítico considerado ideal para o desenvolvimento normal da planta, sendo possível observar através de uma diagnose visual a nível de campo esta deficiência. As plantas apresentavam sistema radicular limitado, o que interfere no desenvolvimento normal das plantas, pois toda a absorção de água e conseqüentemente nutrientes são comprometidas reduzindo o desenvolvimento normal da arquitetura da planta, as folhas apresentavam sintomas típicos visuais da deficiência de N foliar, espiga com má granação FIGURA 10.

⁷ ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern-Worblaufen: International Potash Institute, 1974. 452 p.



FIGURA 10 - DIFERENÇAS OBSERVADAS NA FORMAÇÃO DA ESPIGA E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR EM FUNÇÃO DAS DOSES CRESCENTES DE N.

MUZILLI (1983) observou que a cultura do milho em sucessão ao trigo, por ser o milho uma cultura altamente exigente em N, começou apresentar colmos mais finos e menores tamanho das espigas, refletindo diretamente no campo em redução da produtividade de grãos, desta forma, confirmando os resultados obtidos e as características morfológicas observadas nesta pesquisa. GONÇALVES (1997) também obteve menor rendimento de produtividade de milho, quando este foi cultivado na seqüência aveia/milho sem N em relação a demais culturas de coberturas utilizadas, menor que o próprio pousio, devido segundo o autor em consequência da imobilização do N do solo durante a decomposição da palha da aveia, já que a mesma apresenta uma relação C/N alta (48:1). O mesmo autor observou uma tendência do rendimento de grãos ano a ano, chegando ser de 33% inferior na média de 5 anos quando da utilização da aveia no inverno. O cultivo seqüencial realizado milho/aveia proporciona ao decorrer do tempo uma menor disponibilidade de N as plantas e/ou uma disponibilidade de N em um período de menor sincronia da demanda de N pela planta de acordo com a sua demanda.

Apesar de a aveia diminuir a disponibilidade de N devido ao processo de imobilização, a introdução da mesma no PD é indispensável. O sucesso do PD depende da entrada de elevada quantidade de fitomassa no sistema, da manutenção de grande quantidade de palhada sobre a superfície do solo. A aveia apresenta esta capacidade de fornecer grande quantidade de MS, além de outras vantagens do seu cultivo como cultura de cobertura, destacando-se: redução do processo erosivo contribui para a diminuição das perdas de N através da lixiviação de NO_3^- , aumento da infiltração da água, a ciclagem de nutrientes devido à aveia possuir um sistema radicular “agressivo” no solo, a mobilização de cátions no perfil e o controle de ervas daninhas (AMADO et al. 2000; FRANCHINI et al. 1999; DEBARBA e AMADO, 1997).

Observa-se também que existe uma relação entre a produtividade de grãos de milho e os teores de N foliar. A medida que aumentou o teor de N foliar ocorreu um

incremento na produtividade, a qual continuou respondendo mesmo quando o teor de N atingiu o pico máximo de 34 g kg⁻¹ de N. ASSMANN (2001), também constatou influência significativa das doses de N aplicadas no verão, sobre a concentração de N no tecido foliar de milho e sobre a produtividade.

4.2 QUANTIDADE DE NITROGÊNIO ABSORVIDA E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

Conforme a FIGURA 11, à medida que ocorreu incremento da produção de MS a quantidade de N absorvida pelas plantas também aumentaram. BORTOLINI et al. (2000) também observou este comportamento, com a evolução do desenvolvimento da planta de milho, o acúmulo de N na fitomassa aumentou com a elevação da dose de N. A produção média máxima obtida de MS obtida foi 17.370 kg ha⁻¹ no período da espiga já formada com a dose máxima aplicada de 240 kg ha⁻¹ N, que correspondeu com uma absorção de 200 a 250 kg ha⁻¹ N. Dados superiores aos obtidos por CABEZAS et al. (2000) e por CAMPOS (2004), que obtiveram uma produção de MS de 13.229 kg ha⁻¹ com absorção de 136,5 kg ha⁻¹ de N e 13.560 kg ha⁻¹ com absorção de 164 kg ha⁻¹ respectivamente, e inferior a 21.300 kg ha⁻¹ MS obtido por SCIVITTARO et al. (2000). ARAÚJO et al. (2004), obteve maiores resultados de MS também com a dose máxima de N aplicado em cobertura 240 kg ha⁻¹ com uma produção de 14.482 kg ha⁻¹.

Ocorreu uma produção diária de aproximadamente 100 a 133 kg ha⁻¹ MS dia, para a dose máxima de N aplicada, resultados semelhantes ao encontrado por CABEZAS et al. (2000) de 118 kg ha⁻¹ MS dia. Apenas a dose de 240 kg ha⁻¹ permitiu a absorção da quantidade adequada de N pelas plantas segundo a equação do N-crítico proposta por LEMAIRE (1997), pois todos os pontos ficaram acima da curva que define o nível crítico de N em relação à quantidade de N que deve ser absorvida para o crescimento normal das plantas.

Segundo PLÉNET e CRUZ (1997) para que permitir que a cultura alcance a absorção crítica de N até o final do período de crescimento, a aplicação de fertilizantes nitrogenados em períodos precoces leva a planta absorver um excesso de N, o qual pode ser considerado como um reserva. Porque na maioria das situações testadas, a disponibilidade de N no solo até o fim do período de crescimento foi geralmente insuficiente para suprir a demanda da cultura em N, e esta absorção maior muitas vezes chamada de consumo de “luxo” permitiu que a cultura alcançasse todo seu potencial de crescimento. Portanto, a determinação da quantidade de N absorvida pelas plantas é de extrema importância do ponto de vista da avaliação na disponibilidade de N nos sistemas agrícolas

(AITA, 1997), a qual depende da própria quantidade de N disponível para as raízes e da taxa de absorção pela planta.

A dose de 120 kg ha⁻¹ N assumiu uma posição intermediária, ou seja, ficou no limite entre a suficiência e a deficiência de N. As doses de 0 e 60 kg ha⁻¹ N ficaram totalmente abaixo do nível crítico de N, demonstrando estas doses, fornecerem quantidades insuficientes de N para o desenvolvimento das plantas. Com a dose 0 kg ha⁻¹ N a quantidade de N absorvida foi no máximo 100 kg ha⁻¹ N, quantidade considerada baixa para que a planta expresse todo seu potencial genético principalmente relacionado à produtividade, tendo em vista a variedade utilizada ser de alta tecnologia. Estes resultados entram em contraste com os teores de N foliares obtidos, pois todos os resultados demonstravam níveis suficientes de N de acordo com os níveis recomendados pela pesquisa.

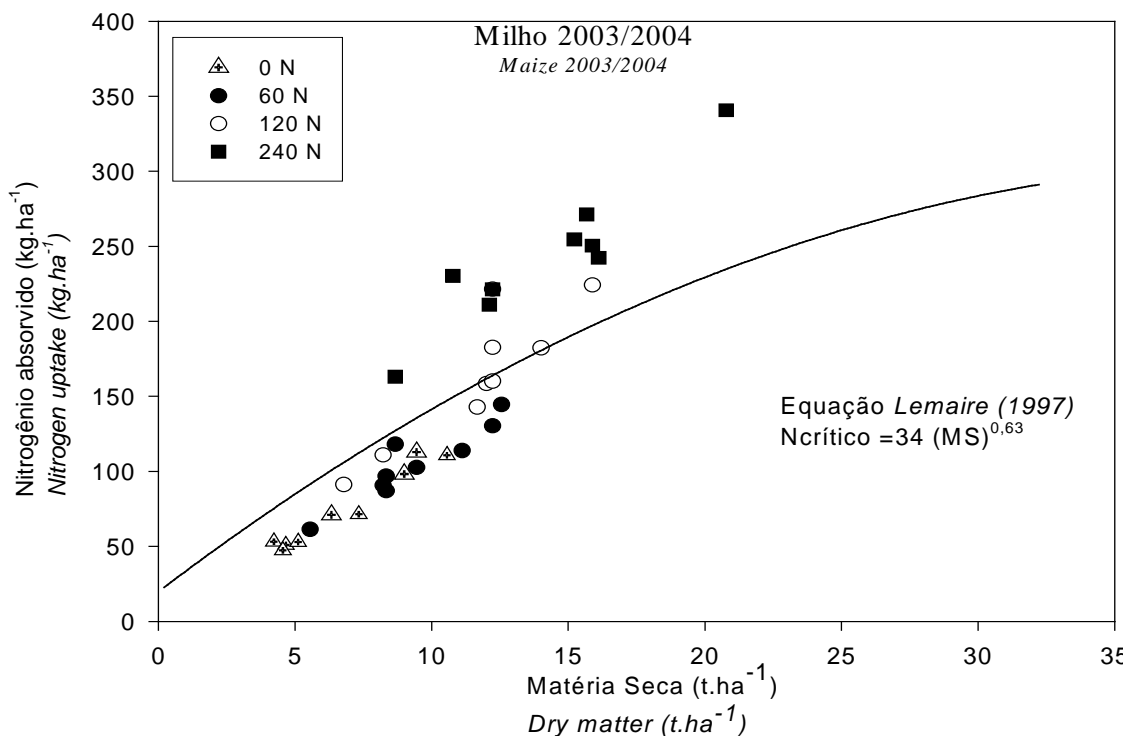


FIGURA 11 - CURVA CRÍTICA DE NITROGÊNIO RELACIONANDO AO NITROGÊNIO ABSORVIDO EM FUNÇÃO DO AUMENTO DA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA.

Este efeito positivo da quantidade de N absorvido no aumento da produção de MS ficou evidente na FIGURA 11. De acordo com BULL (1993), as folhas de milho quando bem nutridas em N tem a capacidade de assimilar mais CO₂, aumentando a capacidade de síntese pela planta, o que resulta em maior acúmulo de matéria vegetal. Além de que, o N tem efeitos positivos sobre o sistema radicular (BULL, 1993; YAMADA, 1996) e sobre o aumento no comprimento e número de espigas por planta, confirmado de forma evidente na FIGURA 10. Segundo ESCOSTEGUY et al. (1997), o N é quem determina o crescimento

das plantas de milho, com aumento significativo na área foliar e na produção de MS, resultando em maior produtividade de grãos.

Por ser o milho uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados, deve-se tomar cuidado no momento da recomendação da adubação nitrogenada para se evitar que ocorra sub ou superestimação de doses. O suprimento inadequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes ao seu rendimento de grãos. Assim, o manejo da adubação nitrogenada deve objetivar suprir a demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a eficiência de uso do nitrogênio (EUN) e minimizar o impacto ambiental através da redução de perdas, procurando atender apenas a demanda da cultura evitando grandes quantidades de resíduos no solo passíveis de ser lixiviados. Esta consciência de fornecer somente a quantidade que a planta necessita, com doses compatíveis com os respectivos cultivares que são usados pelos agricultores, levando em consideração uma série de outros fatores que não unicamente só o fator produtividade, é uma missão a todos os profissionais que estão envolvidos no processo produtivo, na grande maioria os engenheiros agrônomos, pois na maioria das vezes procura-se apenas a busca pela produtividade máxima, quando deveria ser almejado o máximo retorno econômico, pois nem sempre maior produtividade significa maior lucratividade, mas isto é um desafio que precisa ser superado por todos que convivem neste meio agrônomo.

4.3 TEORES DE N MINERAL NO SOLO (N-NO_3^- e N-NH_4^+)

4.3.1 Nitrato

Não se constatou efeito significativo do fator doses de N sobre os teores NO_3^- no solo conforme Anexo 4, Anexo 5 e Anexo 6. Constatou-se apenas o efeito estatístico significativo do fator profundidade sobre os teores de NO_3^- no solo na segunda e na terceira coleta como pode-se observar nos Anexos 5 e 6, e na TABELA 4.

TABELA 4 - TEORES DE NO_3^- NO SOLO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE AMOSTRADA, PATO BRANCO, PR, 2003/2004

Prof. (cm)	1ª avaliação 18/09/03	2ª avaliação 18/12/03	3ª avaliação 14/01/04
	mg dm ⁻³		
0 - 5	57,7 ns	110,3 a	99,0 a
5 - 10	50,6 ns	60,6 b	61,9 b
10 - 20	50,8 ns	59,9 b	49,1 c

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5%.

Estes resultados também estão de acordos com os obtidos por SÁ (1999), o autor avaliou os teores de NO_3^- em profundidades e em diferentes sistemas de manejo, plantio direto e convencional. Obteve os maiores teores de NO_3^- na camada de 0-7 cm, sendo estes teores quase três ou quatro vezes superiores no plantio direto em relação ao convencional. Por outro lado nas camadas mais profundas abaixo de 30 cm predominou presença de NH_4^+ .

Os resultados da avaliação de caracterização são semelhantes ao obtidos por ARAÚJO et al. (2004), porém, os resultados dos teores de NO_3^- obtidos pelos autores na camada de 0-20 cm depois da aplicação de N foram menores, estes foram atribuídos as condições climáticas durante a realização do experimento. Em anos secos as perdas de N são inferiores a 3% e em anos com excesso de precipitação estas perdas variam de 25 a 70%.

Na primeira avaliação de caracterização da área, os teores de NO_3^- apresentaram-se semelhantes, não havendo diferença estatística significativa em função das profundidades. A segunda avaliação efetuada 27 dias após a primeira aplicação de N, apresentou valor superior de NO_3^- principalmente na profundidade 0-5 cm, que diferiu estatisticamente das demais profundidades. A terceira avaliação efetuada 54 dias após a segunda aplicação de N apresentou comportamento semelhante, maiores teores de NO_3^- na camada de 0-5 cm que se diferiu estatisticamente das demais profundidades, mas os valores de NO_3^- foram inferiores nas três profundidades em relação à segunda avaliação, pode ter sido absorvido maior quantidade pela planta, pois nesta fase de florescimento e enchimento de grãos é, segundo CANTARELA (1993), a fase em que o milho demanda muito N.

Observou-se aumento nos teores de NO_3^- independente das doses na segunda avaliação, sendo o conteúdo de NO_3^- na camada de 0-5 cm o dobro em relação à primeira avaliação, diferentemente da terceira avaliação onde o teor de NO_3^- nesta profundidade diminui e nas demais permaneceu semelhantes aos das primeiras avaliações.

Os menores valores de NO_3^- na avaliação de caracterização podem ser devidos à alta quantidade de palhada de aveia presente em cobertura. A aveia apresenta alta capacidade de imobilização de N, portanto a mineralização é menor, refletindo-se diretamente nos teores de NO_3^- no solo. A taxa de nitrificação também pode ter sido baixa durante este período, porque a mesma depende de outros fatores como: temperatura, umidade, pH, e a própria quantia de NH_4^+ , oxigênio e CO_2 . Temperaturas no solo abaixo de 30 a 35 °C fazem com que ocorra um decréscimo na taxa de nitrificação e temperaturas abaixo de 5 °C muito pouco NO_3^- é formado STENVENSON e COLE (1999). Outros fatores também podem ter contribuído para o processo de baixa nitrificação AMADO (1997) verificou que a adição de palhada de aveia independente se na superfície ou incorporada, reduziu em 60% o teor de NO_3^- no solo, atribuindo este resultado à imobilização microbiana. ALMEIDA (2000) também encontrou efeito significativo da palhada de aveia na imobilização de N, conseqüentemente no teor de NO_3^- .

Os maiores teores de NO_3^- encontrados na segunda e na terceira avaliação na profundidade de 0-5 cm, podem ser devidos às características químicas do solo apresentarem-se mais favoráveis à atividade microbiana, conseqüentemente uma maior atuação do processo de mineralização, sobressaindo sobre a imobilização.

Outros fatores que podem ter contribuído para a presença destes teores de NO_3^- mais elevados em superfície seriam, o alto conteúdo de MO e o pH mais elevado. Estas condições encontradas na superfície são altamente favoráveis para atuação de microrganismos nitrificadores, isto pode ser confirmado por DORAN (1980) onde observou que a população de microrganismos desnitrificadores nas camadas superficiais do solo foi 44 vezes superior à encontrada em preparo convencional. Por outro lado, nas camadas mais profundas estas condições não foram tão favoráveis assim, ambos os parâmetros, MO e pH eram menores, conseqüentemente os teores de NO_3^- diminuiram.

O pH é um dos fatores mais importantes durante o processo de nitrificação de N, isto foi comprovado por MORRIL e DAWSON (1967)⁸ citado por PRASAD e POWER (1997).

⁸ MORRIL, L. G.; DAWSON, J. E. Patterns observed for the oxidation of ammonium to nitrate by soil organisms. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 31:757-760.

Em estudo desenvolvido por estes autores, onde avaliaram a nitrificação de 116 solos dos Estados Unidos submetidos em pH que variavam de 4.4 a 8.8, observaram diferentes comportamentos da nitrificação em função dos pH. Solos que apresentavam pH entre 5.01 e 6.38, oxidavam rapidamente o NH_4^+ e o NO_2 em NO_3^- , diferentemente dos solos que apresentavam pH menores, onde o NH_4^+ era oxidado a nitrato lentamente, e em pH maiores o NH_4^+ era oxidado a NO_2 que se acumulava por longo período antes de oxidar a NO_3^- .

PRASAD e POWER (1997) observaram a existência de uma relação linear entre o pH e a taxa de nitrificação. O aumento do pH de 4.5 para 6.5 durante 15 dias de incubação a uma temperatura de 23 °C, fez com que o teor de NO_3^- do solo aumentasse de 15 mg dm³ para aproximadamente 120 mg dm³.

A absorção de NO_3^- em estádios iniciais é importante para que possa acumular N na planta, pois as plantas respondem ao NO_3^- , ou seja, servem como nutriente e como um sinal para as plantas. Como nutriente o NO_3^- é reduzido a amônio e incorporado em aminoácidos. Recentes pesquisas mostram que sinais derivados devido à presença de NO_3^- , estão envolvidos no desencadeamento de várias mudanças na expressão gênica, resultando na reprogramação do metabolismo de N e de carbono que facilitam a absorção e a assimilação deste íon pela planta. Estes sinais também são responsáveis pelo ajustamento do crescimento e a arquitetura de raízes de acordo com o estado fenológico da planta e a sua distribuição no ambiente (STITT, 1999).

As perdas de NO_3^- , principalmente por lixiviação podem ser influenciadas pelo sistema de manejo adotado e também depende do tipo de cultura que é utilizada em cobertura. BAYER e MIELNICZUK (1997) observaram que as maiores perdas de N foram verificadas no sistema de plantio convencional, devido a ocorrência maior do processo de mineralização, existe maior contato dos resíduos com o solo proporcionando maior decomposição consequentemente, a quantidade de N mineralizada é maior que a demanda de N pela planta e o excedente permanece na solução do solo passível de ser lixiviado. CAMARGO et al (1989) avaliando perdas de N por lixiviação, observaram perdas significativas de N por lixiviação em solo com 79% de areia submetidos a precipitações maiores que 200 mm durante duas semanas.

HEINZMANN (1985) obteve menores teores de NO_3^- no solo em parcelas que continham aveia preta como cobertura, sendo que após 120 dias os teores de NO_3^- se elevaram no solo. O ideal é que houvesse sincronia entre a maior liberação de N pelos resíduos da aveia com a maior demanda de N pela cultura do milho, desta forma, ocorreria o fornecimento de N suficiente na hora em que a planta mais precisa de N para se desenvolver e diminui a possibilidade do NO_3^- ser lixiviado devido maior absorção pela planta.

A ocorrência de maiores teores de NO_3^- nas camadas superficiais é interessante do ponto de vista ecológico, podendo ser um indicativo de que não está ocorrendo a lixiviação de N e, proporciona que o N esteja mais próximo do sistema radicular para que possa ser absorvido podendo reduzir a lixiviação. O NO_3^- é facilmente lixiviado no solo e por isto está muito sujeito à lixiviação através da água.

4.3.2 Teores de Amônio

Não houve influência estatística significativa do fator doses de N sobre os teores de NH_4^+ no solo conforme Anexo 7, Anexo 8 e Anexo 9, houve apenas influência estatística significativa do fator profundidade para a segunda avaliação conforme observa-se no Anexo 8 e na TABELA 5.

Observa-se que os resultados de NH_4^+ são mais constantes no solo em relação ao NO_3^- , ocorrendo pouca variação em relação à profundidade. A presença do amônio é mais interessante porque o mesmo está menos sujeito à lixiviação devido apresentar carga positiva, podendo se ligar às cargas negativas do solo, evitando desta forma, perdas através do processo de lixiviação, mantendo-se valores mais constantes no solo.

TABELA 5 - TEORES DE NH_4^+ N MINERAL NO SOLO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE SOLO AMOSTRADA, PATO BRANCO, PR, 2003/2004

Prof. (cm)	1ª avaliação 18/09/03	2ª avaliação 18/12/03	3ª avaliação 14/01/04
	mg dm ⁻³		
0 - 5	36,6 ns	36,7 a	44,9 ns
5 - 10	32,9 ns	30,2 b	35,0 ns
10 - 20	33,2 ns	30,6 b	36,1 ns

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5%.

Pode-se observar também que na terceira avaliação os teores de NH_4^+ aumentaram, enquanto os teores de NO_3^- na terceira avaliação diminuíram, ou seja, estes teores diminuíram devido a planta ter absorvido maiores quantidades de NO_3^- pois nestes estágios de desenvolvimento (florescimento e formação de grãos) a demanda por N é maior, portanto, pode ter ocorrido uma maior absorção de N fazendo com que os teores de NO_3^- diminuíssem na solução do solo, a outra hipótese é a nitrificação ter sido inibida por algum fator do solo, mais provável pela umidade, ou ainda ter ocorrido o processo de lixiviação do N para as camadas mais profundas além das profundidades analisadas, podendo estes fatores terem contribuídos para a elevação dos teores de NH_4^+ do solo.

SÁ (1999) avaliando os teores de NO_3^- e NH_4^+ em profundidade, observou predomínio de NO_3^- até os primeiros 30 cm no PD, abaixo desta profundidade predominou a forma de NH_4^+ . O autor justifica isto devido nesta profundidade às características químicas do solo como, por exemplo, à acidez ser maior, fator limitante para que ocorresse a atividade dos microrganismos nitrificadores nestas condições, impedindo a nitrificação e favorecendo a ação dos amonificadores, consequentemente elevando estes teores VICTORIA et al. (1992).

A cultura de cobertura exerce grande influência na dinâmica do N no solo, podendo ter maiores ou menores teores dependendo da cultura utilizada em cobertura, extraindo NH_4^+ e NO_3^- na camada de 0 - 7,5 cm de solo antes da aplicação de fertilizante nitrogenado na primavera ambos foram maiores sobre resíduos de ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), que sob centeio ou resíduo de milho. Isto deve se deve ao fato da menor relação C/N da ervilhaca em relação à aveia e o milho, promovendo rápida liberação de N aumentando os teores iniciais de N no solo. Por outro lado às gramíneas apresentam alta relação C/N, desta forma indicam potencial alto potencial para imobilização de N durante o processo de decomposição dos resíduos (ALEXANDER, 1980).

Teoricamente, o NH_4^+ deveria ser a forma preferida de N a ser absorvida pelas plantas ao invés do NO_3^- para síntese de proteínas, devido o gasto de energia necessário para a redução do NO_3^- , onde para cada íon de NO_3^- a ser reduzido é necessário duas moléculas de NADH. Em solos bem drenados e aerados a oxidação do NH_4^+ para NO_3^- ocorre de forma rápida. A maioria dos íons de NH_4^+ são adsorvidos nos sítios de troca, tornando-se mais difíceis de lixiviar. Os íons de NH_4^+ e de K^+ são trocáveis porque eles são iguais em tamanhos e ambos são monovalentes.

4.3.3 Índice nutricional nitrogenado (INN)

A relação entre a concentração de N na cobertura vegetal e a produção de massa seca nas quatro coletas avaliadas encontra-se na FIGURA 12. Houve diferença estatística significativa das doses de N sobre os teores de N da planta inteira em todas as coletas efetuadas conforme Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12 e Anexo 13. Estes valores obtidos foram confrontados com a curva de diluição proposta por LEMAIRE (1997). Observa-se que apenas a dose de 240 kg ha^{-1} forneceu quantidades suficientes de N de acordo com a demanda das plantas, atestando um adequado INN. As demais doses apresentaram a tendência de todos os valores ficarem abaixo da curva crítica de N proposta pelo autor atestando inadequado INN, nem mesmo a dose de 120 kg ha^{-1} de N foi suficiente para suprir

toda a demanda pela planta, permaneceu no limite entre a suficiência e a deficiência de N. As demais doses de 0 e 60 kg ha⁻¹ permaneceram muito abaixo da curva do N crítico considerado ideal, sendo a quantidade de N totalmente insuficiente para suprir a demanda das plantas.

Pode-se observar na FIGURA 12 que um percentual de N entre 1,0% a 1,3% de N seria suficiente para suprir a demanda da cultura por N. Este percentual foi somente alcançado com a dose de 240 kg ha⁻¹ que está de acordo com o obtido por AMADO et al. (2003) que obtiveram 1,2% de N na MS. STANFORD (1973) avaliou vários experimentos nos Estados Unidos e conclui também que a concentração de 1,2 % N na MS do milho foi suficiente para maximizar o rendimento de grãos.

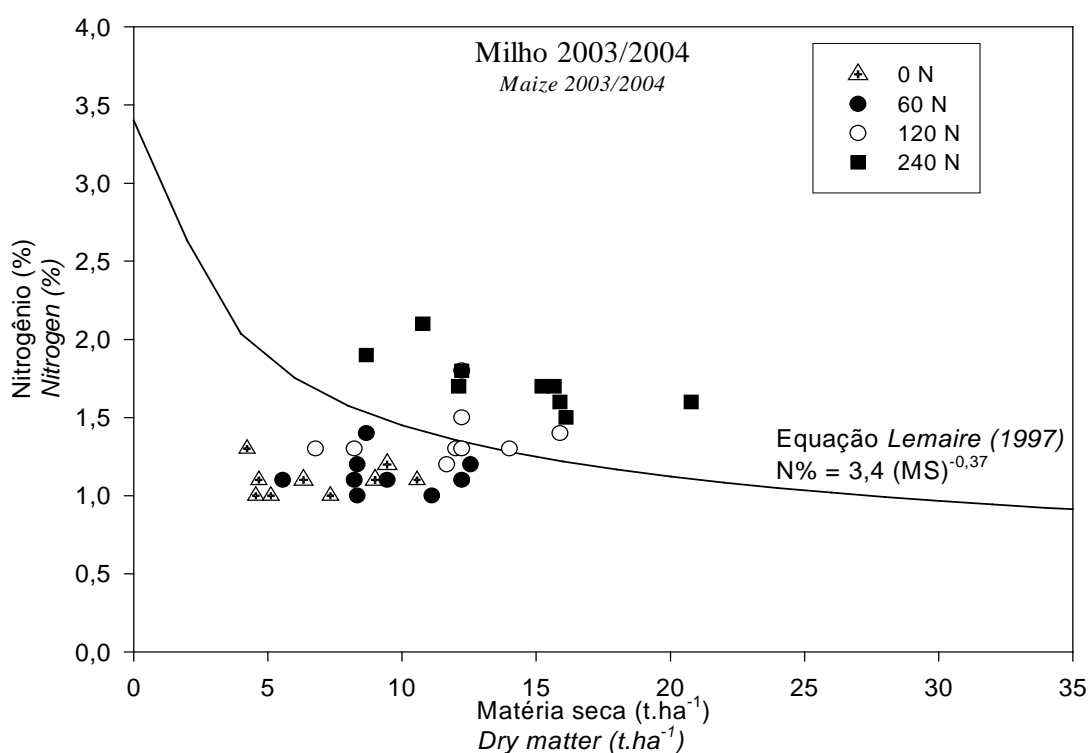


FIGURA 12 - CONCENTRAÇÃO DO %N EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE MASSA SECA NA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO, PATO BRANCO/PR 2003/2004.

Em recente pesquisa (HERRMANN e TAUBE, 2004) também observaram que um percentual de 1 a 1,5 % de N na MS é suficiente para atestar um INN adequado para o desenvolvimento das plantas.

BOBATO (2003) obteve resultados de INN adequado para as doses de 120 kg ha⁻¹ e 240 kg ha⁻¹ N. Ao contrário desta pesquisa, onde somente a dose de 240 kg ha⁻¹ foi capaz de atingir INN adequado. O provável motivo da dose de 120 kg ha⁻¹ não ter atingido o INN,

pode ser atribuído ao fato do milho ter sido cultivado na seqüência milho-aveia-milho, diferentemente da primeira situação, onde a seqüência de culturas antecedendo o milho incluía uma leguminosa, soja-aveia-milho. A inclusão de uma leguminosa no sistema, no caso a soja, pode ter contribuído com a adição de N devido a capacidade de fixação biológica que a mesma apresenta, contribuindo para que a dose de 120 kg ha^{-1} atingisse o INN adequado, pois o cultivo anterior com soja pode significar uma contribuição de N entre 17 e 59 kg ha^{-1} para a cultura subsequente WIETHOLTER (1996), o que pode ter reduzido o efeito da imobilização de N pela palhada de aveia, consequentemente liberando mais N para a cultura do milho, o que contribuiu para que a dose de 120 kg ha^{-1} de N atingisse o INN. Para as demais doses 0 kg ha^{-1} e 60 kg ha^{-1} todos os pontos ficaram abaixo da curva crítica de N, atestando INN inadequado, resultados idênticos ao obtidos por BOBATO (2003).

HERRMANN e TAUBE (2004) trabalhando com doses de 0, 50 e 150 kg ha^{-1} , observaram que quase 100% dos pontos da dose de 0 e 50 kg ha^{-1} N ficaram abaixo da curva crítica de N, enquanto que na dose de 150 kg ha^{-1} a maioria dos pontos apresentaram INN adequado.

Pode-se observar que à medida que aumentou a produção de MS à quantidade %N na parte aérea diminui, este fenômeno é conhecido como a curva de diluição. Mesmo quando há um amplo fornecimento de N, a concentração de N dentro da planta diminui com o crescimento. Este fenômeno tem sido usualmente interpretado como resultado do envelhecimento da planta e tem sido relatado simplesmente o ciclo da cultura ao tempo, levando a uma larga diferença entre espécies em uma dada situação e entre diferentes condições de crescimento para um dado genótipo. Em estágios precoces de crescimento a massa total da planta é composta basicamente por componentes metabólicos e, à medida que ocorre o crescimento da planta e consequentemente o aumento da biomassa, os componentes metabólicos compostos vão sendo utilizados para a formação dos componentes das plantas, como por exemplo, à parede celular, portanto, a quantidade de metabólitos que eram livres nas plantas é direcionada para exercer alguma função dentro da mesma, diminuindo a %N LEMAIRE (1997).

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por HERRMANN e TAUBE (2004), os autores observaram o mesmo comportamento em relação ao declínio da %N em função do aumento da produção de MS em três anos consecutivos de pesquisa. Com o aumento da idade da planta aumentava a produção de MS e diminuía a quantidade de N na planta.

O declínio na planta da %N em relação à massa parece ser um processo universal, o qual resulta do declínio ontogênico da proporção de metabólitos x estrutura dos tecidos

como, por exemplo, do incremento do tamanho da planta. De acordo com LEMAIRE (1997) a atividade metabólica da planta é determinada através da proporção da biomassa da planta, a qual está associada com a interceptação da luz e sua posterior conversão, e que a demanda de N para o máximo crescimento da planta corresponde à necessidade mínima de N para alcançara máxima expansão de área foliar. Para o milho a relação %N crítico da planta e a massa da cultura permite a determinação do INN, o qual pode ser usado como ferramenta para a diagnose do verdadeiro status de nutrição nitrogenada da cultura.

Em alta densidade a competição por luz entre plantas individuais leva a uma rápida mudança na morfologia da planta, e provoca uma aceleração no decréscimo da área foliar, a qual é paralela ao declínio da %N na planta. Os dados obtidos parecem indicar que a taxa de acúmulo de N na cultura é proporcional à taxa de incremento no índice de área foliar, pelo menos durante o período de crescimento vegetativo, porque para muitas culturas o índice de área foliar tende ao incremento igual em relação à massa da cultura LEMAIRE (1997).

Cabe salientar que nesta pesquisa não se trabalhou com quantidades de MS menor que $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$.

4.3.4 Análise econômica

O custo de produção considerado foi o publicado por SEAB/ DERAL (2003). Ou seja, na ocasião o custo de produção de 1 ha era de R\$ 1.619,05 ou U\$ 558,29, que correspondia o custo de R\$ 12,17 ou U\$ 4,2 por saca de 60 kg de grãos de milho, sendo que o preço pago aos agricultores por saca era de R\$ 15,60 ou U\$ 5,4.

Considerando-se tal custo conclui-se que a dose de 240 kg ha^{-1} de N foi a dose que apresentou maior retorno econômico, apresentando um retorno líquido de R\$ 718,00 ou U\$ 247,6 por ha, enquanto a dose de 120 kg ha^{-1} N apresentou um retorno de R\$ 353,00 ou U\$ 121,7 e a dose de 60 kg ha^{-1} N apresentou um retorno de R\$ 220,00 ou U\$ 75,9 por ha. Portanto, a dose de 240 kg ha^{-1} se mostrou ser mais lucrativa do ponto de vista econômico, mesmo sendo uma dose alta de N aplicado a mesma demonstrou-se ser mais lucrativa quando comparada com as demais.

5 CONCLUSÕES

Ocorreu aumento linear na produtividade de grãos de milho e na produção de MS em função doses crescentes de N.

A dose de 240 kg ha⁻¹ N apresentou maior produtividade e maior retorno econômico quando comparada às demais doses aplicadas.

Não houve influência estatística significativa das doses de N sobre os teores de NO₃⁻ e NH₄⁺ do solo, constatou-se apenas efeito significativo do fator profundidade sobre os teores de NO₃⁻ e NH₄⁺ do solo. Não houve lixiviação de N-mineral até as profundidades de 0-20 cm avaliadas, houve uma diminuição dos teores de N-mineral avaliados em profundidade.

As doses de 0 e 60 kg ha⁻¹ não forneceram quantidades de N suficientes para que as plantas alcançassem o INN e atendessem toda a demanda da planta por N.

A análise foliar não se mostrou tão sensível quanto o índice nutricional nitrogenado (%N na planta toda) para avaliar o estado nutricional da cultura do milho e poder detectar situações de deficiências de N pela cultura.

Os resultados demonstram que o N-crítico pode ser usado para avaliar o status de N, já que o mesmo é usado de forma simples e eficaz, podendo ser usado como um eficiente indicador para detectar deficiências ou excessos de N absorvido. Pode ser usado em vários estágios de crescimento da planta, permitindo adotar um manejo adequado de adubação nitrogenada para a cultura do milho, evitando-se aplicações desnecessárias que causam menores lucratividades para os agricultores e maiores riscos ao meio ambiente.

Para maior validação do método de avaliação do status de N (INN), deve-se realizar mais trabalhos a campo, em diferentes regiões, com diferentes condições edafoclimáticas, validando o método para que o mesmo possa ser usado de forma segura em diferentes regiões.

REFERÊNCIAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R. DALMOLIM, R. S. D. (Ed.). **Atualização em recomendação e calagem**: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Palloti, 1997. p. 76-111.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.

ALEXANDER, M. Decomposición de la materia orgánica. In: ALEXANDER, M. **Introducción a la microbiología del suelo**. México: AGT, 1980. p. 142-162.

ALMEIDA, A. C. R. **Uso associado de esterco líquido de suínos e plantas de cobertura de solo na cultura do milho**. Santa Maria, 2000. 144 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria.

AMADO, T. J. C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo de solo**. Porto Alegre, 1997. 201 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 553-560, 2000.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 241-248, 2002.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. Influência da decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 1085-1096, 2003.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:679-686, 1999

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 771-777, ago. 2004.

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada para milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4. p. 745-754, 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 109-119, 2003.

ASSMANN, T. S. **Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio**. Curitiba, 2001. 59 p. Tese (Doutorado em Produção vegetal) - Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BASSO, C. J. **Épocas de aplicação de nitrogênio para milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto**. Santa Maria, 1999. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 905-915, 2000.

BASSO, J. B. **Manejo da adubação nitrogenada para o milho em sucessão a planta de cobertura de solo no inverno sob plantio direto**. Santa Maria, 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria.

BAYER, C. Manejo da fertilidade do solo na cultura do milho. In: BRESOLIN, M. **Contribuição para a cultura do milho para o Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, 1993. p. 71-93.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BINFORD, G. D.; BLACKMER, A. M.; CERRATO, M. E. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 219-223, 1992.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004.

BOBATO, A. **Curva de diluição: uma ferramenta para o diagnóstico do estado nutricional da cultura do milho**. Pato Branco, 2003. 52 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

BOBATO, A.; ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L.; DIEHL, R. C.; CAMBRUZZI, M. A.; STEINER, M. Efeito da adubação nitrogenada sobre a profundidade de milho cultivado sob sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais**. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

BORKERT, M. C.; YORINORI, J. T.; FERREIRA, B. S. C.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; SFRIDE, G. J. Seja doutor da sua soja. **POTAFOS**. Informações agrônômicas. N. 66 – junho 1994.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 897-903, 2000.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E. L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 361-366, 2002.

BROWN, R. H. Growth of C₃ and C₄ grasses under low N levels. **Crop Science**, Madison, v. 25, p. 954-957, 1985.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POFAFOS, 1993. p. 63-145.

BURNS, I. G. Influence of plant nutrient concentration on growth rate: use of a nutrient interruption technique to determine critical concentrations of N, P e K in young plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 142, p. 221-233, 1992.

CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 363-376, 2000.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Comparative study of live hydrolytic methods in the determination of soil organic nitrogen compounds. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, Monticello, v. 28, p. 1303-1309, 1997.

CAMARGO, P. B.; TRIVELIN, P. C. O.; LIBARDI, P. L.; MORAES, S. O. O. Destino do N de fertilizantes – 15N (uréia aquamônia) aplicados na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., Recife, 1989. **Resumos**. Recife: SBCS, 1989. p. 70-71.

CAMPOS, A. X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. Piracicaba, 2004. 131p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação no milho. In: BULL.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho; fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 147-195.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, 2002.

CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. p. 111-120.

CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 4, p. 525-531, 1991.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERNANI, L.C. **Cultivo de milho, nutrição e adubação**. Sete Lagoas: Embrapa. 2002. (Comunicado Técnico 44).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. 1999. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/deficiência/deficiência/html/>>. Acesso em: 10 dez. 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 393 p.

CRAWFORD, T.W.; RENDIG, V.V.; BROADBENT, F.E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiol.**, 70:654-660, 1982.

DAL ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Cienc. Rural**, set./out. 2003, vol.33, n.5, p.799-804.

DEBARBA, L.; AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 473-480, 1997.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.

DICK, W. A.; McOy, E. L.; EDWARDS, W. M.; LAL, R. Continuous application of no tillage to Ohio soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 65-73, 1991.

DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 765-771, 1980.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: SUDESUL/ IAPAR, 1984. 2V. (Boletim Técnico, 27).

EMBRAPA, 1999. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil. **EMBRAPA SOJA**, 1999.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; RIZZARDI, M. A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 71-77, 1997.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360.p.

FIELD, C.; MOONEY, H. A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In: GIVNISH, T. J. (Ed.). **On the economy of plant form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. p. 25-55.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2267-2276, 1999.

GONÇALVES, C. N. **Plantas de cobertura de solo no inverno e seus efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo do solo e na produtividade do milho em sucessão, sob plantio direto**. Santa Maria, 1997. Dissertação (Mestrado).

HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility. III. Percentages of N, P and K in different plant parts in relation to stage of growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 222-230, 1962.

HAUCK, R. D. Epilogue. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: Soil Science Society of America, 1984. p. 782-787.

HEINRICHS, R. **Ervilhaca e aveia preta cultivadas simultaneamente como adubo verde e sua influência no rendimento do milho**. Piracicaba, 1996. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

HEINZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.

HERRMANN, A.; TAUBE, F. (2004). The range of the critical Nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. **Agronomy Journal** 96, 1131-1138.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Disponível em: <<http://www.iapar.gov.br>>. Acesso em: 2 mar. 2004.

JANSEN, H. H.; BEAUCHEMIN, K. A.; BRUINSMA, Y.; CAMPBELL, C. A.; DESJARDINS, R. L.; ELLERT, B. H.; SMITH, E. G. The fate of nitrogen in agroecosystems: Na illustration using Canadian estimates. **Nutr. Cycling Agroecosyst.**, v. 67, p. 85-102, 2002.

KIHEL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. p. 101-125.

KORNDÖRFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 23-26, 1997.

LANG, C. R. **Dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes da palhada de aveia preta e nabo forrageiro cortadas em diferentes estágios de desenvolvimento**. Curitiba, 2000. 48 f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 1997. p. 1-56.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, Paris, v. 4, p. 423-430, 1984a.

LEMAIRE G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de la variabilité entre génotype. **Agronomie**, Paris, v. 4, p. 431-436, 1984 b.

MAAK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná, 1968. 350p.

MAGDOFF, F. Understanding the Magdoff pre-sidedress nitrate test for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison. v. 3, n. 4, p. 297-305, 1991.

MAI, M. E. M.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 125-131, jan. 2003.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; MONASTEIRO, O. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. **Science**, Washington, DC, v. 280, n. 3, abril. 1998.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto comparado ao convencional, sobre a camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 95-102, 1983.

PLÉNET, D.; CRUZ, P. Maize and Sorghum. In: LEMAIRES, G. (Ed). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Springer, 1997. p. 93-105.

PLÉNET, D.; LEMAIRES, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 216, p. 65-82, 1999.

PÖTTKER, D. **Efeito do tipo de solo, tempo de cultivo e da calagem sobre a mineralização da matéria orgânica em solos do Rio Grande do Sul.** 1977. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PRASAD, R.; POWER, J. F. **Soil fertility management for sustainable agriculture.** New York:, 1997.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (Boletim 100).

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1279-1287, jul./ago. 2004.

RECOUS, S.; DARWIS, D.; MARY, B. Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxon, v. 27, p. 1529-1538, 1995.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, 1993. 21 p. (Special Report, 48).

SÁ, J. C. M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto.** Piracicaba, 2001. 141.p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SÁ, J. C. M. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio na produção de milho, após resteva de aveia-preta (*Avena strigosa*), sob plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. **Resultados de Pesquisa 88/89.** Castro: FUNDAÇÃO ABC, 1989. p. 61. (Boletim Técnico, 4).

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In 8 Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. **Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships.** Viçosa: SBCS, 1999. p. 267-320.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65-70, jan./fev. 2003.

SANTI, A.; AMADO, T.J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. In. Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nov./dez. 2003, vol.27, n.6, p.1075-1083.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 917-926, 2000.

SEAB - Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná. **Preços médios mensais de venda no atacado.** Disponível em: <<http://www.celepar.br/celepar/seab/>> Acesso em 20 julho 2004.

SEAB/DERAL. Disponível em: www.conab.gov.br, acesso dia 04 de junho de 2005.

SILVA, C. ALBERTO.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2461-2471, dez. 2000.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. I n: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 467-524.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 885-896, 2000.

STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **J. Qual.**, v. 2, p. 159-166, 1973.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of Soils - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients**. 1999.

STITT, M. Nitrate regulation of metabolism and growth. **Current Opinion in Plant Biology**, Heidelberg, v.2, n.3, p.178-186, 1999.

SWISTOCK, B. R.; SHARPE, W. E.; ROBILLARD, P. D. A survey of lead, nitrate e radon contamination of private individual water systems in Pennsylvania. **Journal of Environmental Health**, Denver, v. 55, p. 6-12, 1993.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J.; **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, 1995. Boletim técnico Nº 5, 2ª edição revisada e ampliada. Departamento de Solos, UFRGS. 174 p.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 107-114, 1992.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil Fertility and Fertilizers**. 5th ed. New York: MCMILLAN, 1993.

U.S. Geological Survey (USGS). **The quality of our nation's water-nutrients and pesticides**. Circ. 1225. 1999.

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Annu. Ver. **Plant Physiology**, Washington, DC, v. 3, p. 207-228, 1952.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 25-29.

USDA. Disponível em: www.usda.gov/oce/waob/wasde/latest.pdf, acesso dia 05 de junho de 2005.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 411-7, 1998.

VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 105-120.

VOSS, R. E.; HANWAY, J. J.; DUMANIL, L. C. Relationship between grain yield and leaf N, P and K concentrations for corn and the factors that influence this relationship. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 726-728, 1970.

WIETHOLTER, S. **Adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 44 p.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada no milho**: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba: POTATOS, 1996. p. 15. (Informativo agrônomo n. 47).

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1 - Estimativa de custo de 1 ha para a cultura do milho no mês de julho/2003

ESTIMATIVA DO CUSTO DE PRODUÇÃO				
Produto: MILHO (1ª safra)		Safra: 2003/04		
Local: Oeste do Paraná (Cascavel, Toledo)		Mês de Referência: JULHO/03		
Produtividade: 7980 kg/ha ou 133 sc/ha				
Especificação		R\$/ha	R\$/60kg	Participação (%)
1 -	Operação de máquinas e implementos	139,87	1,05	8,64
2 -	Despesas de manutenção de benfeitorias	4,79	0,04	0,30
3 -	Mão-de-obra temporária	2,25	0,02	0,14
4 -	Sementes	159,84	1,20	9,87
5 -	Fertilizantes	376,01	2,83	23,22
6 -	Agrotóxicos	269,13	2,02	16,62
7 -	Despesas gerais	19,04	0,14	1,18
8 -	Transporte externo	84,27	0,63	5,20
9 -	Recepção/secagem/limpeza/armazenagem	64,00	0,48	3,95
10 -	Assistência técnica	19,42	0,15	1,20
11 -	PROAGRO/SEGURO	33,02	0,25	2,04
12 -	Juros	52,72	0,40	3,26
TOTAL DOS CUSTOS VARIÁVEIS (A)		1.224,36	9,21	75,62
1 -	Depreciação de máquinas e implementos	58,81	0,44	3,63
2 -	Depreciação de benfeitorias e instalações	12,76	0,10	0,79
3 -	Sistematização e correção do solo	20,87	0,16	1,29
4 -	Seguro do capital	8,21	0,06	0,51
5 -	Mão-de-obra permanente	85,26	0,64	5,27
SUB-TOTAL (B)		185,91	1,40	11,48
6 -	Remuneração do Capital próprio	76,74	0,58	4,74
7 -	Remuneração da terra	132,04	0,99	8,16
SUB-TOTAL (C)		208,78	1,57	12,90
TOTAL DOS CUSTOS FIXOS (B+C)		394,69	2,97	24,38
CUSTO OPERACIONAL (A+B)		1.410,27	10,60	87,10
CUSTO TOTAL (A+B+C)		1.619,05	12,17	100,00
Fonte: SEAB / DERAL, 2003				

Anexo 2 - Análise da variância da produtividade em função das doses crescentes de N aplicadas em cobertura

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	5,75523E7	3	1,91841E7	16,35	0,0027
B:Bloco	102426,0	2	51213,0	0,04	0,9576
RESIDUAL	7,04161E6	6	1,1736E6		
TOTAL (CORRECTED)	6,46963E7	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Anexo 3 - Análise da variância para N foliar em função doses crescentes de N

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	106,445	3	35,4818	37,07	0,0003
B:Bloco	0,16035	2	0,080175	0,08	0,9207
RESIDUAL	5,74258	6	0,957097		
TOTAL (CORRECTED)	112,348	11			

Anexo 4 - Análise da variância para NO₃ primeira coleta dia 18 setembro de 2003

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	1633,74	3	544,58	1,02(1)	0,4465
B:Prof	389,854	2	194,927	1,20(0)	0,3280
C:Bloco	630,517	2	315,259		
INTERACTIONS					
AB	212,942	6	35,4903	0,22(0)	0,9655
AC	3196,75	6	532,792		
RESIDUAL	2607,06	16	162,942		
TOTAL (CORRECTED)	8670,87	35			

F-ratios are based on the following mean squares:
 (0) Residual
 (1) AC

Anexo 5 - Análise da variância para NO₃ segunda coleta dia 18 dezembro de 2003

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	130,211	3	43,4037	0,09(1)	0,9619
B:Prof	20029,5	2	10014,7	14,57(0)	0,0002
C:Bloco	3316,78	2	1658,39		
INTERACTIONS					
AB	1876,28	6	312,713	0,45(0)	0,8312
AC	2840,69	6	473,448		
RESIDUAL	11000,5	16	687,528		
TOTAL (CORRECTED)	39193,9	35			

F-ratios are based on the following mean squares:

Anexo 6 - Análise da variância para NO₃ terceira coleta dia 14 janeiro de 2004

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	397,642	3	132,547	1,26(1)	0,3688
B:Prof	16129,1	2	8064,53	39,48(0)	0,0000
C:Bloco	706,927	2	353,463		
INTERACTIONS					
AB	563,533	6	93,9221	0,46(0)	0,8278
AC	630,784	6	105,131		
RESIDUAL	3268,68	16	204,293		
TOTAL (CORRECTED)	21696,6	35			

F-ratios are based on the following mean squares:

Anexo 7 - Análise da variância para NH₄ 18 setembro de 2003

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	312,227	3	104,076	2,62(1)	0,1458
B:Prof	104,415	2	52,2075	2,67(0)	0,1001
C:Bloco	96,165	2	48,0825		
INTERACTIONS					
AB	217,805	6	36,3008	1,85(0)	0,1515
AC	238,535	6	39,7558		
RESIDUAL	313,24	16	19,5775		
TOTAL (CORRECTED)	1282,39	35			

F-ratios are based on the following mean squares:

Anexo 8 - Análise da variância para NH₄ 18 dezembro de 2003

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	54,14	3	18,0467	0,51(1)	0,6873
B:Prof	315,965	2	157,982	6,73(0)	0,0076
C:Bloco	18,455	2	9,2275		
INTERACTIONS					
AB	16,615	6	2,76917	0,12(0)	0,9927
AC	210,505	6	35,0842		
RESIDUAL	375,84	16	23,49		
TOTAL (CORRECTED)	991,52	35			

F-ratios are based on the following mean squares:

Anexo 9 - Análise da variância para NH₄ 14 janeiro 2004

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	1167,41	3	389,137	1,93(1)	0,2258
B:Prof	708,845	2	354,423	4,72(0)	0,0245
C:Bloco	61,865	2	30,9325		
INTERACTIONS					
AB	1924,62	6	320,769	4,27(0)	0,0093
AC	1209,0	6	201,499		
RESIDUAL	1201,08	16	75,0675		
TOTAL (CORRECTED)	6272,81	35			

F-ratios are based on the following mean squares:

Anexo 10 - Análise de variância de N na planta inteira primeira coleta 60 dias após plantio

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	138,513	3	46,1711	45,64	0,0002
B:Bloco	0,637117	2	0,318558	0,31	0,7412
RESIDUAL	6,06928	6	1,01155		
TOTAL (CORRECTED)	145,22	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Anexo 11 - Análise de variância de N na planta inteira segunda coleta 75 dias após plantio

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	136,926	3	45,6418	25,34	0,0008
B:Bloco	0,857617	2	0,428808	0,24	0,7952
RESIDUAL	10,8059	6	1,80099		
TOTAL (CORRECTED)	148,589	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Anexo 12 - Análise de variância de N na planta inteira terceira coleta 120 dias após plantio

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	42,487	3	14,1623	24,34	0,0009
B:Bloco	9,00395	2	4,50197	7,74	0,0218
RESIDUAL	3,49078	6	0,581797		
TOTAL (CORRECTED)	54,9817	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Anexo 13 - Análise de variância de N na planta inteira quarta coleta 145 dias após plantio

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	78,2339	3	26,078	58,34	0,0001
B:Bloco	0,306217	2	0,153108	0,34	0,7230
RESIDUAL	2,68192	6	0,446986		
TOTAL (CORRECTED)	81,2221	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.